



TITLE:

土木施工の工事計画・管理のシステム化に関する実証的研究(  
Dissertation\_全文)

AUTHOR(S):

田坂, 隆一郎

---

CITATION:

田坂, 隆一郎. 土木施工の工事計画・管理のシステム化に関する実証的研究. 京都大学, 1983, 工学博士

ISSUE DATE:

1983-11-24

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.r5106>

RIGHT:

土木施工の工事計画・管理のシステム化  
に関する実証的研究

昭和 58 年 6 月

田 坂 隆 一 郎

土木施工の工事計画・管理のシステム化  
に関する実証的研究

昭和 58 年 6 月

田 坂 隆 一 郎

## 序

わが国における建設工事の近代化・合理化は、建設技術の発展と進歩にともなって各方面・各分野で進められてきた。すなわち、機械化施工の導入と普及を端緒として1960年代には建設機械や施工方法の技術革新が目覚しく、今日の建設技術の基礎を築くものとなった。続いて、1970年代には新工法・新材料の開発が盛んに行われるとともに、エレクトロニクスの発達を背景として設計・積算技術の高度化が進展するところとなった。しかしながら、1980年代に入って、技能労働者の恒常的な不足、実質的な工期の短縮化、困難な施工条件での作業安全の確保などの工事施工に対する制約と規制がますます厳しくなる中で、優れた品質の施設構造物を経済的に建設することが要求されるようになった。これまでのように、個々の施工技术を個別に適用するのではなく、関連技術の選択と資源の運用を施工過程の中で計画し、それらを総合的な観点に立って管理することによって、施工上の諸問題の解決を図ることの重要性が指摘されるようになってきたのである。

本論文は、このような認識のもとに、土木施工の工事計画・管理の体系化の方法を系統的に考察し、種々の提案を試みたものである。土木施工の近代化・合理化という重要な課題に対して本研究の成果がこれらの分野にいささかでも寄与することになれば幸いである。

本研究を進めるにあたって多くの方々にご指導、ご鞭撻をいただいた。

恩師故石原藤次郎先生には公私にわたってご薫陶を賜った。京都大学教授吉川和広先生には、筆者が土木計画学研究室の受託研究員となって以来、終始篤実なるご指導、ご鞭撻を賜った。また、同助教授春名攻先生には筆者がこの分野での技術研究に携わるきっかけを与えられ、今日に至るまで親身なご指導と温かい励ましをいただいた。そして、<sup>(株)</sup>鴻池組常務取締役川崎健次博士には建設企業における技術研究に関して種々のご示唆をいただいた。以上の方々に深甚なる謝意を表する次第である。

本研究をとりまとめるにあたっては<sup>(株)</sup>鴻池組本社技術研究所、同電算室および同社内関連部門の各位にご協力をいただいた。また、同技術研究所部長工藤光威氏、同主任研究員折田利昭氏、同安井英二氏には本論文の編集にご助力をいただいた。ここに感謝の意を表する次第である。



# 目 次

## 序

<b>第 1 章 序 論</b> .....	1
第 1 節 土木施工の工事計画・管理の重要性 .....	1
第 2 節 工事計画・管理におけるシステムズアプローチの必要性 .....	3
第 3 節 工事計画・管理における工程機能の役割と位置づけ .....	8
第 4 節 工程計画・管理を中心とする工事計画・管理のシステム化の課題 .....	12
第 5 節 本研究の内容 .....	16
参 考 文 献 .....	20
 <b>第 2 章 工程計画・管理のトータルシステム化の方法に関する研究</b> .....	21
第 1 節 緒 言 .....	21
第 2 節 工事施工における工程計画・管理の課題の整理 .....	22
第 3 節 トータル化のための工程計画・管理のプロセス .....	25
第 4 節 工事の施工単位と全体工程計画の構成要素との対応 .....	39
第 5 節 全体工程計画における構成要素の特徴 .....	45
第 6 節 プレシーデンス型ネットワークによる合理的な工程計画の作成方法 .....	51
第 7 節 地下鉄工事における適用事例 .....	63
第 8 節 結 言 .....	73
参 考 文 献 .....	75
 <b>第 3 章 総括工程計画のスケジューリングの方法に関する事例研究</b> .....	77
第 1 節 緒 言 .....	77
第 2 節 総括工程計画のシステム化の方法 .....	78
第 3 節 地下鉄工事における総括工程計画モデルの作成方法 .....	87
第 4 節 シミュレーションモデルによる掘削工程計画の作成事例 .....	96
第 5 節 ネットワークモデルによる構築工程計画の作成事例 .....	112
第 6 節 結 言 .....	124
参 考 文 献 .....	126

<b>第 4 章</b>	<b>詳細工程計画のスケジューリングの方法に関する事例研究</b>	127
第 1 節	緒 言	127
第 2 節	詳細工程計画の課題の整理	128
第 3 節	ネットワークモデルによる詳細工程計画の作成方法	133
第 4 節	詳細工程計画の作成プログラムの設計	148
第 5 節	地下鉄駅部工事における適用事例	160
第 6 節	大規模ケーソン工事におけるコンクリート打設作業の解析事例	169
第 7 節	結 言	182
	参 考 文 献	184
<b>第 5 章</b>	<b>工程管理のトータルシステム化の方法に関する研究</b>	185
第 1 節	緒 言	185
第 2 節	工程管理を中心とする工事管理システムのプロセス	186
第 3 節	ネットワークモデルによる工程管理の方法と適用事例	191
第 4 節	施工実績情報収集における工事日報の利用事例	207
第 5 節	マクロな進捗管理法への出来高曲線の利用事例	217
第 6 節	結 言	232
	参 考 文 献	234
<b>第 6 章</b>	<b>工程管理を中心とする工事管理システムの開発に関する研究</b>	235
第 1 節	緒 言	235
第 2 節	コンピュータを利用した工事管理システムの概念と課題	236
第 3 節	現場設置の小型コンピュータを利用した工程管理システムの設計事例	244
第 4 節	工事日報を利用した施工実績情報処理システムの設計事例	255
第 5 節	地下鉄駅部工事におけるシステムの実効性の検証	268
第 6 節	結 言	280
	参 考 文 献	282
<b>第 7 章</b>	<b>結 論</b>	283

# 第1章 序 論

## 第1節 土木施工の工事計画・管理の重要性

土木工事の施工環境は、近年ますますその厳しさを増してきている。とりわけ、市街地工事においてその傾向が著しく、立地条件の制約、隣接重要構造物や周辺環境の保全の問題、工事にともなって発生する産業廃棄物の処理など、工事内容の複雑化・高度化に伴う施工技術上の諸問題に加えて、工事の施工環境に関する幾多の問題を抱えている。また、工事の実施段階においても、複雑な工事許認可の手続き、実質的な工事期間の短縮化の傾向、熟練技能労働者の慢性的な不足、作業員の高齢化の問題、工事用諸資源の価格高騰など、工事現場の運営管理に関わるあらゆる側面において厳しい制約が課せられるようになってきている。

土木工事は一般に工事請負契約のもとで行われることが多く、工事に対する諸制約がどのように厳しいものとなっても、所定の品質を有する構造物を指定された工期内にしかも経済的に完成させることが要求される。これまでは、施工の機械化、新材料・新工法の開発と導入など主として施工技術的側面の技術革新に努力が注がれ、それが土木工事の近代化に著しく寄与して土木工事施工の合理化を推進する原動力となってきたことは衆目の認めるところであろう。しかしながら、経済社会の諸条件や工事の施工環境が現在のように工事現場の運営管理に直接的にかつ顕著に影響を及ぼし圧迫するようになってくると、それぞれの工事施工条件や環境条件に最適な施工方法を選択することとそれらを工事の実施状況に合わせて適正に運用し管理することが工事の施工目標を合理的に達成するうえで重要な要件となってきた。近年における施工技術の発達と普及は相当に複雑で高度な構造を有する土木構造物の構築を可能とするようになってきたが、その反面、適用すべき施工技術の選択とその運用方法を誤ると工事の迅速性や経済性を著しく損うこととなる。従来にも増して計画作成段階における工事施工の事前検討、つまり工事計画作成の重要性が増大してきているといえるのである。

しかし、一方、土木工事は工事計画作成における事前検討で工事計画の内容をすべて確定化しつくせるほど単純ではなく、また、当初想定した施工条件や環境条件のもとで工事が進行していくというほど安定的でもない。工事施工条件や環境条件の緊縛化は土木工事のこのような工事特性を著しく助長するものとなってきた。こうした状況に対処するためには、工事施工中の各段階での構造物や地盤の挙動の計測と工事用諸資源の投入状況の調査・分析とによって以後の工事施工に対する影響や今後の見通しを把握する必要がある。そして、それにもとづいて必要な対策の立案と計画内容の修正をできるだけ早い時期に講じること、つまり、工事管理機能を有効に活用することが、工事全体の施工目標を望ましい水準で達成するうえで重要な要件となってきた。

土木工事が置かれている現状を概観すると以上のようなものであるが、土木工事施工の合理化を図るにあたっては、さらに、土木工事が一般的に有している３つの生産形態の及ぼす影響について考察しておく必要がある。すなわち、

- ① 受 注 生 産、
- ② 現 地 生 産、
- ③ 下 請 生 産。

事業者の要求する機能を満足する土木構造物の具体的形状、寸法、品質等は設計図書に記されている。施工者は、設計図書に示されている品質の土木構造物を、指定された工事期間内に確実にかつ精度よく構築することが要求される。したがって、土木工事の施工にあたっては、請負金額が事前に決定されていることから、必要な工事用資源の調達と運用はその制約のもとに可能なかぎり経済的に行わなければならない。

また、建設対象となる土木構造物や建設地点が各工事のつど異なるということは、現場施工組織の編成が異なるメンバー構成のもとに各工事ごとに行わなければならないことになる。工事に投入される工事用資源の種類や数量、施工方法なども類似工事といえども全く同じであるということはない。こうした諸条件のもとで、もともと土木施設の何もない所に土木構造物を建設していくのであるから、作業環境は必然的に危険な場所が多くなり作業者自身にとっても不安全要素が多いことになる。とくに、近年の土木構造物はますます大型化・複雑化する傾向にあり、施工条件も厳しさを増す一方であって、安全性に対する社会的意識のこう揚と相俟って、工事施工の安全性の確保は重要な管理要件であるといえる。

さて、工事ごとに現場施工組織を編成し、しかも、そのつど工事に必要な資源を建設地点に集めなければならない労働集約的・資源集約的な受注生産形態においては労働力の調達と工事用資源の調達の両側面において非常に不安定な状況を生み出すことになる。受注生産形態を採る産業においては、受注量の不安定性に対処して生産効率の向上を図るために一般に下請制度を利用することが多い。このことは土木工事の施工を行う建設業においても例外ではなく、工事に必要なすべての工種について多重で多階層な下請構造が形成されている。事業者（注文者）から発注された土木工事を工事請負契約にもとづいて実施する施工者（元請負者）は、事業者から与えられた設計図書に示されている土木構造物を建設地点に実体化するために工事の施工計画を作成し、それにもとづいて工事に必要な各種工事用資源を調達することになる。下請制度の場合、工事を直接に行うのは工種ごとに定めた下請負者が行うことになるので、元請負者としての施工者は工事全体の施工計画をもとに下請負者に対して施工仕様を呈示するための作業計画を作成する。作業計画は工種ごとに施工方法と施工手順の要領を記述し遵守すべき施工仕様と施工成果としての品質と施工精度に対する施工管理基準を明らかにしたものである。これによって逐次構築されていく各構造物部分が設計図書に示されている土木構造物の

規格を満足するものであるかどうかが評価されることになる。しかしながら、土木工事では工事着工段階においてすでに遵守すべき工事期間と工事予算が設定されているのが普通であり、各工種における個別的な施工活動が工事全体の時間的・費用的配分の枠組みを満足するかどうか、つまり、工程と資源運用に関する計画・管理を合理的に行うことが重要な要件となる。

土木工事を工事プロジェクトの組織形態に注目すると、それは上述のように、

① 事業者（発注者）、② 施工者（元請負者、下請負者）、

に大別されるが、施工者の組織形態としては、一般に、

① 本社、② 支店、③ 現場、

という多階層な構成となっているのが普通である。さらに、本社・支店に注目すると、

① 営業部門、② 生産部門、③ 管理部門、

を基本的機能とする構成となっている。工事の施工という直接的な生産活動を担当する工事現場は生産部門に直属していて、間接的には管理部門の統制を受けており、工事の受注と施工という関連から営業部門とも密接な関係がある<sup>1)</sup>。

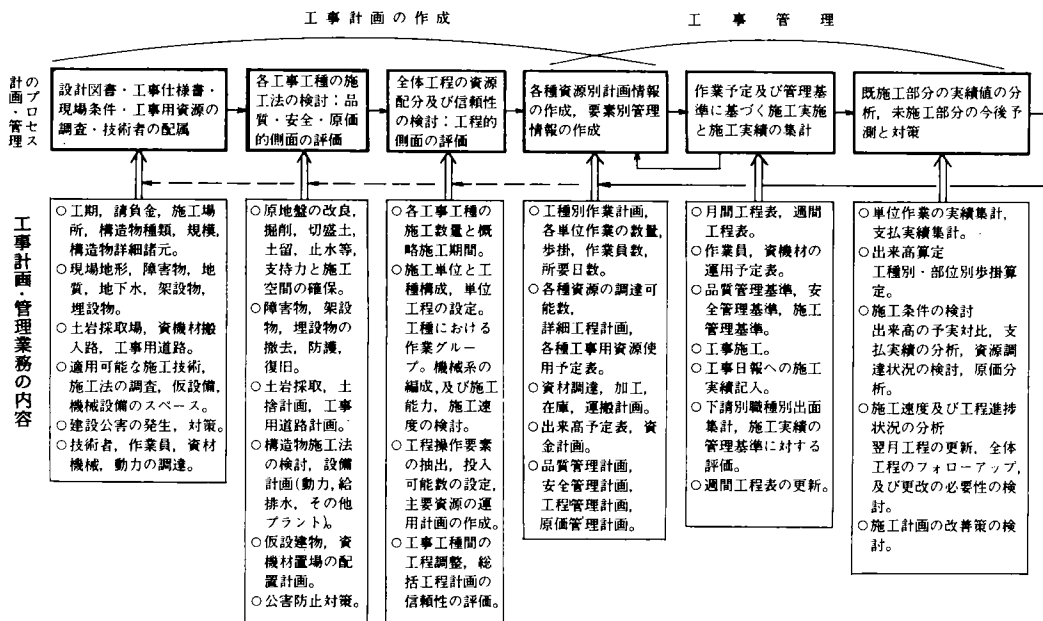
本研究において明らかにしてきた工事施工の合理化に関する諸問題は、すべて工事現場における施工活動に直接に影響を与えるものであり、工事の請負制度や下請制度、施工者としての組織的制約も絡んで非常に複雑な様相を呈していることがわかるであろう。こうした中で工事施工の合理化を抜本的に実現していくためには、工事の施工過程を計画・実施・統制という工事マネジメントのサイクルにしたがって記述し、工事施工の合理化の課題が工事施工目標の達成とどのように関わっているかを定量的に把握することのできる工事計画・管理システムの構築が重要な要件であると考え<sup>2)</sup>。

## 第2節 工事計画・管理におけるシステムアプローチの必要性

### 1. 工事計画・管理の用語の定義

工事を受注すると、施工者は現場施工組織を編成し建設地点に現場事務所を開設する。現場事務所では設計図書や建設地点の立地調査にもとづいて工事計画を立案し、工事予算を作成する。そして、工事計画に示された工事施工方針と各工事・各工種の予算の枠組みにしたがって必要な労働力と各種工事用資源を調達して、作業計画にもとづいて工事を実施することになる。それとともに、施工結果としての構造物の品質と施工精度を測定し、投入した労働力と工事用資源の種類・数量を記録し、施工成果のとりまとめと必要な処置対策を講じるのである。工事の施工は一連の作業を技術的および管理的な観点から定めた順序関係や相互関係のもとに行われるので、個々の作業の施工結果は以後の工事施工に部分的あるいは全体的な影響を及ぼすことになる。したがって、毎日、毎週、毎月の施工結果を把握して、それが今後の工事施工にどのように影響するかを予測し、必要な対策と措置を早い時

以上のことから、土木工事施工は、工事全体として、また各工種・各作業に対して、計画・実施・統制という、いわゆる、Plan－Do－See というマネジメント機能をサイクリックに繰り返して進められる生産活動であることがわかる。図－1.1 は、各種工事プロジェクトにおける工事計画・管理業務の内容を調査して<sup>3)</sup>、それを工事計画・工事実施・工事管理の各プロセスにとりまとめ、各業務の位置づけと相互関係を明らかにしたものである。これをみると、土木工事の計画・管理業務がいかに多岐にわたり、多様であるかがわかる。それゆえに、個々の工事施工業務の科学化・合理化と工事計画・管理の総合化・体系化の必要性がわかるのである。



③ 各作業の施工仕様の指示，工事の実施・監督，施工結果の計測など日々の施工活動に関わる業務（ここでは，この業務レベルを作業のマネジメントレベルと呼ぶことにする）。

さて，ここで，本研究における主要な研究課題である「工事計画・管理」という言葉の定義について言及することは，この分野においてしばしば見受けられる用語上の混乱を避けるばかりでなく，本研究の立場や考え方を明らかにするのにも役立つと考えられる。

工事計画・管理に類似すると考えられる言葉としては，「施工計画・管理」<sup>4)</sup>，「工事マネジメント」<sup>5)</sup>，「工事管理」<sup>6)</sup>，「現場管理」<sup>7)</sup>，「施工管理」<sup>8)</sup>という種々様々な言葉が用いられている。まず，「施工計画・管理」は，施工計画や工程計画や作業計画などの工事施工に直接的に関わる諸計画の作成，それらの計画を管理目標とする工事の実施，および工事施工の実態の把握とその診断結果の計画へのフィードバックというように，工事施工の計画・実施・管理を一貫した方針のもとに進めていこうとするトータルシステムの構築の考え方が根底となっている。本研究も基本的にこのような考え方に立脚している。次に，「工事マネジメント」という言葉は，工事のマネジメントレベル，工程のマネジメントレベル，作業のマネジメントレベルというように，工事施工における階層性を意識したものとして用いられる。本研究において用いている「工事計画・管理」は土木工事施工に対する考え方において「施工計画・管理」に等しく，その対象とする範囲において「工事マネジメント」と同じであるが，階層性の概念が明示的に表されていないといえる。一般によく用いられる「工事管理」は，工事施工の計画段階をも含んでいるが，計画・実施・管理を一貫するトータルシステムの構築よりも工事施工の実施と管理を重視する個別システム的な考え方であるといえる。また，「工事管理」には工事プロジェクトを対象とする場合と工事施工を対象とする場合があるが，ここでは後者を指している。「現場管理」という言葉は文字どおりに工事現場における管理全般を含むものであり，その対象とする範囲は一般的にいうならば「工事管理」よりも狭いといえる。「施工管理」という言葉は「工事管理」と同義語的に用いられる場合が多いが，それが「コントロール」を意味するときには作業のマネジメントレベルにおける管理行為がこれにあたるものと考えることができる。

## 2. 工事計画・管理の多階層特性の把握

ここでは，前項の考察のもとに上述の工事施工のマネジメントレベルの概念について詳述する。

すなわち，工事のマネジメントレベルでは，工事現場の立地条件の踏査，着工手続きと工事用地の確保，工事現場周辺地域への影響調査，建設機械・施工設備の選定，労働力・資材の調達方針，現場施工組織の編成，工事安全衛生管理体制の確立など，工事現場に乗り込んで施工計画を作成し工事を実施していくために必要な諸準備と態勢を整えていくことが当面の主要な業務となる。また，工事に着手した段階でも，設計変更のような工事契約上・施工上の問題の処理，労働災害・事故の対策措置，周辺地域の保全対策，工事に伴う法的規制，工事計画・工事費予算の更改，労働力・資機材の調達購

入の対策など、施工者に対する外部的要因が絡む諸問題、本社・支店の管理部門との調整を要する諸問題、工事の施工計画・管理の基本的方針に関わる諸問題に対して適切な対策と措置を講じて、構造物品質の確保、工事期間の遵守、工事の経済性の確保などの工事現場運営の管理目標が総体的に満足すべき水準で達成されるようにしなければならない。

つまり、工事現場で発生する問題や工事の進行に関連する問題のすべてを対象として、工事現場の運営管理目標の達成という立場からそれらの諸問題を取扱い、措置・対策の方針を決定して、その実施を指示するというのが工事のマネジメントレベルにおける機能であり、現場所長や主任技術者が司る業務に対応するものであるといえよう。

次に、工程のマネジメントレベルでは、上述の工事のマネジメントレベルにおいて決定された方針にしたがって工事施工に関わる技術上・管理上の問題を取扱うことになる。

すなわち、各施工段階における構造物断面や構造物部位の力学的安全性と工学的合理性に裏づけられた各種施工方法代替案の立案と所要材料・資材・機械の種類・規格・寸法・数量の算定を行い、隣接構造物や隣接工区との相互関係、各工種・各作業の施工手順などの関係から、構造物構築の単位、すなわち、各施工単位の計画諸元を明らかにすることになる。土木工事においては工事を受注した段階で工事期間と請負金額がすでに決定されているので、工事全体の構造物構築の日程配分と各種工事用資源の経済的な選定と効率的運用という側面がこのレベルの計画・管理において重要視されることになる。

工事期間の確保と工事施工の経済性の追求という問題は、主要な工事工種における施工方法の立案と建設機械・材料・資材の選択という工事施工の総括的な構想化の段階でその概略的な枠組みが決定され、主要な工事工種の日程的な配分と工事用資源の運用方針が明らかにされる。

工事の内容が実施に向けて順次具体化されてくると、構造物部位や構造物断面単位の検討をもとに、各構造物部位の施工に必要な工種と作業をすべて抽出してそれらの計画諸元を求め、各作業の順序関係と各種工事用資源の投入水準を定めて、詳細な実施計画を作成することになる。この段階においては、工事全体の日程的配分のバランスはもとより、重点的に管理すべき工程経路、すべての工事用資源の期間別投入水準と運用方法、隣接工区との工程の調整、隣接施工ブロックとの施工技術上・作業安全上の問題点の解消、先行作業や後続作業との連続性の確保など、工事全体の経済性、施工の安全性、構造物の品質水準のすべてに満足すべき結果の得られる計画でなければならない。

工事の実施段階においては、日々の施工活動の結果としての各作業、各工種、各構造物の施工成果が満足すべきものであるか否かの評価とともに、現在の進捗状況のもとに工事が進行していくとして最終的に工事期間や工事費予算の管理目標が達成できるかどうかを診断する必要がある。もし、何らかの問題点が発見されれば、そのための工事施工上の対策と施工計画の修正を行わなければならない。計画作成段階に各種の管理要領を定めた管理計画を作成しておくことによって、こうした問題に敏速



にかつ的確に対処することができるであろう。

以上の考察から明らかなように、工程のマネジメントレベルは、工事現場の運営管理機能を司る工事のマネジメントレベルと次に述べる日々の施工活動に関連する業務を行う作業のマネジメントレベルの両者を工事施工の計画・管理という観点から有機的に結びつけるものとして位置づけられる。種々様々の要因が関連している土木工事において工事施工の管理目標を満足のいく水準でもって達成しようとするれば、それらの要因がどのように（どのレベルで）工事施工と関連し、どのように施工目標の達成に影響するかを明らかにする必要があるだろう。つまり、土木工事の施工過程の構造を明らかにする必要があるわけで、本研究では、工事の施工単位を時間的推移にしたがって配列する工程という観点から工事計画・管理を捉え、そのシステム化を図ることによって工事施工の総合的な合理化を達成しようとしている。

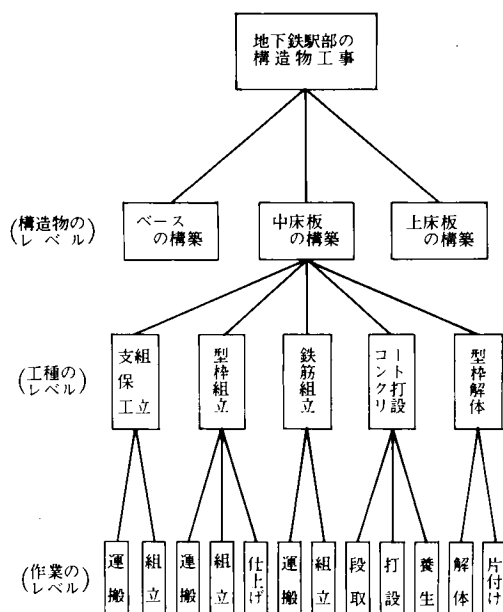
最後に、作業のマネジメントレベルでは、工程のマネジメントレベルで作成された工事実施計画にもとづいて、工事施工の基本的な単位である各作業の実施に関する業務を行うことになる。そこでは、毎月、毎週、毎日の作業日程表を作成し、その中で個々の作業ごとに適用される作業安全管理基準と詳細な施工仕様を指示することによって日々の施工活動を安全に進め、所定の施工精度と品質基準を満足する構造物が得られるように監督していくのである。また、各作業の施工数量、投入資機材の規格・寸法・数量、職種別の作業投入人数を検討して、工事全体の進捗に合せた資源配分となるように作業の進行を統制することが肝要である。そして、施工活動の結果を工事日誌や工事日報を用いて記録し、作業単位、工種単位、構造物単位に施工実績を集計するとともに、労働力や工事用諸資源についても同様の単位で取りまとめることによって、工事進捗状況の把握や作業日程の調整のための実績資料として利用することができる。工程のマネジメントレベルで作成した各種管理計画の目標値と対比して今後工程の予測や各種管理目標の達成度予測の基礎資料として用いることができる。

土木施工の工事計画・管理は、以上の考察から明らかなように、工事の施工体制や工事施工業務、現場管理業務などと直接的に深い関わりを持っている。したがって、その合理化の課題は、施工体制や施工業務や管理業務に認められる多階層な構造特性を理解することによって、はじめて明確に規定することができるといえよう<sup>9)</sup>。すなわち、工事施工業務における、

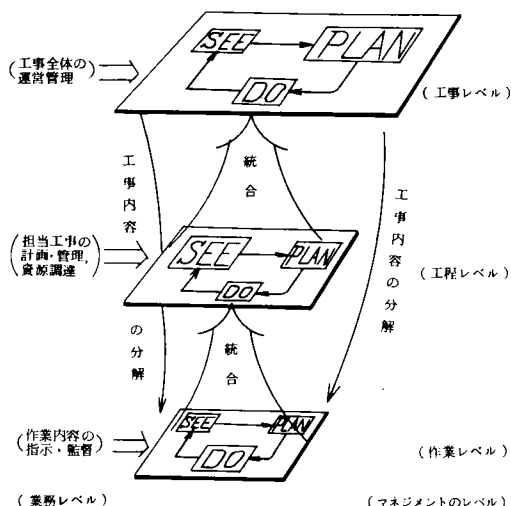
- ① 構造物、 ② 工種、 ③ 作業、

という3つのレベルの施工単位を明確に認識することによって図－1.2に示すように、工事全体の施工内容を3段階のトリー構造に合理的に分解することができる。また、現場管理業務は、工事レベル、工程レベル、作業レベルと呼ばれる3つのマネジメントレベルによって、

- ① 工事全体の運営管理、
- ② 担当工事の計画・管理、
- ③ 各作業の実施・監督。



図－1.2 構造物、工種、作業による  
工事内容のトリー構造分解



図－1.3 工事計画・管理における  
多階層システムの認識

という3段階の業務レベルに合理的に分解することができる。そうした中で、工事計画・管理は、工事内容が細分化されていく過程をとおして計画内容が逐次実体化されていき、また、工事施工の実施とともに構造物が築造されていく過程を通して工事の施工成果が工事の施工目標のもとに統合化されていくという、多重で多階層な構造を持つ1つの体系、つまり、図－1.3に示すような多階層システムを構成するものであることが理解される。

このように、工事計画・管理を、

- ① 工事レベル、 ② 工程レベル、 ③ 作業レベル、

という3段階のマネジメントシステムとして捉えることによって、工事計画・管理の合理化という非常に複雑で複合的・全体的な問題を各マネジメントレベルにおける比較的単純で対象の限定された部分的な計画・管理問題に帰着させることができる。さらに、それらの部分的な計画・管理問題は工事内容の分解・統合の過程を通して相互の有機的な関連性が明らかにされることになる。そして、こうした多階層システムの観点に立って系統的にアプローチしていくことによって、工事計画・管理が本来的に具備すべき要件としてのトータルシステムの構築が可能になると思考するものである。

### 第3節 工事計画・管理における工程機能の役割と位置づけ

土木工事施工における計画・管理<sup>10)</sup>は、全体的で間接的な管理要素である安全、品質、工期、原

価の確保と、個別的で直接的な管理対象である作業員、機械、資材の運用に関する計画・管理、およびそうしたすべての活動に必要な施工情報の効果的な処理を行うものであると、要約することができる。作業員、機械、資材の運用に関しては工程計画・管理を中心とする工事計画・管理システムの中で具体的に考察することとする。ここでは、従来、工事計画・管理における位置づけが明確にされていなかった安全性、品質、工程、経済性について、前述の3つのマネジメントレベルとの対応をも考慮して定性的な考察を行う。

## 1. 作業の安全性の確保

土木工事は、一般に、作業環境条件の劣悪な場所で施工されることが多い。このために、工事の進行過程で予見される不安全条件に対しては、施工計画作成段階において施工方法、作業手順、施工工程、工事予算などに関して予防措置を講じるとともに、施工実施段階においても作業個々人の不安全行動を規制するための安全諸規則および作業標準の確立とその周知徹底を図り、作業時における安全点検を実施することが重要である。作業の安全性の確保は、作業に従事する個々人の身体上の安全に関するものであり、施工計画・工程計画・作業計画の作成にあたっては作業員の安全の確保は必須の要件である。しかしながら、工事の進行とともに施工条件や環境条件は推移していくのが普通であり、当初計画の作成時点に想定したものと異った状況のもとで作業を行うことも少なくはない。したがって工事の実施段階においては工程の確保や経済性の追求のために取られる措置や対策がそれぞれの作業と作業員の安全にどのような影響を与えるかを事前に把握しておくことが重要である。

このように、工事施工における安全性の確保の問題は計画作成段階における事前の安全対策の立案とその確実なる実施とともに、工事の進行にともなって推移する不安全条件の把握や作業員の不安全行動への監視が重要な役割を果たすものと考えられる<sup>11)</sup>。労働災害・事故は、一旦発生すると、工事現場の運営に対する時間的、費用的、精神的な影響も小さくはなく、労働災害の実態調査や事故データの統計資料などは事前の事故予防対策や不安全条件と不安全行動の除去に活用されてこそ意味があるといえよう。

## 2. 構造物の品質水準の確保

土木工事においては、使用される構造物資材はすべて設計図書等によって品質、規格、寸法、数量が定められているのが普通である。しかし、工事の施工に必要な仮設構造物はそのつど設計して強度と安定性の検討を行っておかなければならない。土木構造物の場合、構築後に不良部分の手直しや再施工することは多大の手間と費用と時間を要し、以後の工程に及ぼす影響も大きい。また、構造物が破壊でもすれば、その影響範囲はきわめて大きく、場合によっては人間の損傷や人命の死を招くことすらある。

このために、土木工事の施工は、資材の検収と品質特性の確認、個々の作業における手順や方法の遵守と作業安全の確保、各工種における施工仕様の遵守と施工精度の確保、および、各構造物部位の位置、形状、寸法や構造物品質水準の確保、というように、個々の作業の施工成果を積み上げていく過程の中で、作業レベル、工種レベル、構造物レベルのそれぞれのレベルにおける品質の目標水準を逐次達成していくことになる。

また、工事管理という観点からは、各作業、各工種、各構造物部位の施工のつどその結果を計測しておくことは、それぞれの段階における施工実態の把握のみならずそれらを計画値と対比することによって今後の工事進捗状況の見通しが明らかにされるので、以後の施工工程の進行と工事費用の支出を計画的に行ううえで重要なこととなる。近年、大規模土木工事で行われている現場計測工法は構造物の施工における安全管理や品質管理を自動化してシステマチックに行おうとするものであるが、上述したように、単に工事施工の計測という狭い立場からではなく、工事計画・管理という立場からの工事施工の技術的診断と問題点解決のための改善対策の立案検討に活用されてこそ真に意味のある工法であるといえよう。

### 3. 工程計画・管理機能の確立<sup>12)</sup>

工事の施工工程は、個々の作業の安全や各工種、各構造物の品質機能の個別的な要求水準を満足するものとして、また、立案された施工方法や作業手順にもとづく個々の構造物の個別的な構築過程と個々の作業、工種、構造物に投入される各種の工事用資源の運用という管理的な過程とを結合することにより、工事施工の進行を時間的側面から捉えようとするものであるといえる。

一般には工程の単位、つまり、単位工程として作業を用い、各作業における施工数量あるいは投入資材の種類・規格・寸法・数量、投入職種の作業員数と作業処理能力あるいは投入機械の機種・台数と時間当たり処理能力、および所要日数と所要費用を求めて、工程計画を作成する場合が多い。しかしながら、単位工程としては作業のみならず工種や構造物のレベルにおける施工単位を用いることが可能である。そして、それぞれのレベルにおいて適切に設定された単位工程を用いて工事全体にわたる総合的な工程計画を作成することによって、工事全体の資源配分計画、各種の工事用資源の調達・使用計画およびそれらの運用計画の作成、工事施工の進捗評価の指標となる工程経路の抽出、作業員や資機材の動きに遊休や錯綜のない作業工程の確立、さらには、作業空間や作業足場の確保など施工の安全性を考慮した作業日程の調整等々、工事施工の計画・管理に必要とされる諸元や指標が求められることになる。

工程計画は工事全体が工期内に納まるように工事の施工内容を時間軸にしたがって配列したものであるが、従来はその時間的・日程的な側面が強調されてきたものと思われる。しかしながら、工事施工の技術的なあるいは管理的な制約であっても時間的なあるいは工程的な制約条件として作用するも

のは工程計画の中で考慮することが必要である。また、工程計画の基本的な構成要素である単位工程を構造物、工種、作業のそれぞれのレベルにおける施工単位と対応させて実体的に表すとき、それぞれのレベルの単位工程はそのレベルにおける工事内容の計画特性をも反映したものとなる。つまり、個々の施工作業の安全性や構造物の品質特性の確保はそれぞれのレベルと対応する工程計画の作成の過程で評価することができるであろう。そして、それらの種々の施工計画代替案の実施方法、つまり、各種資源の運用計画と工事全体の費用特性についてもそれらの計画要素と対応するレベルの工程計画の中で評価することができる。

さらに、工事の実施に伴って変化してくる施工状況の推移とそれらへの対応策を工程計画の中で検討する方法を考案することによって、工事施工の経済性の追求や品質の確保や作業の安全性の確保のために行われる管理行為を工程管理と対比させて行うことが可能になるであろう。

このように、工程に関する計画・管理は、工事施工における計画・管理の中心的機能を有するものとして位置づけられるのである。工程という側面から土木工事施工という事象を捉え、その計画化と管理行為の実体化を図ることは、土木工事の施工計画・管理における Plan → Do → See というマネジメントのサイクル機能を効果的に作用させることとなり、工事マネジメント技術の合理化と科学化に大きく寄与するであろう、というのが本研究における基本的な考え方である。

#### 4. 工事施工の経済性の追求

さて、土木工事の施工は、経済性の追求という観点から捉えると、生産原価に経費と利益を加えて販売価格とする一般の製造産業とは異なって、受注時に決定された請負金額から工事の施工過程で消費される諸費用を差し引いていき、最終的に工事費用を精算して残された金額が利益として求められる、という特殊な生産形態を有している。このために、最終的に得べき利益水準を確保するために計画作成段階において工事予算を編成することになる。工事予算は工事計画の内容にしたがって直接工事費、間接工事費および管理費等を算出し、それらを所定の予算項目にとりまとめたものであって、工事の施工活動を費用支出という側面から事前に枠組みするとともに今後の費用発生に対して統制を加えるという機能がある。

施工実績を正確に記録してそれを迅速に処理することは工事費用の発生状況や工事の進捗状況を正しく把握して的確な対応策を講じるうえで重要なことである。工事日報の記録・整理や各種調票類などの処理業務はこのような意味で重要である。したがって、これらの業務処理に多大の人手と時間を要している場合には、そのような業務処理を合理化もしくは機械化して省力化を図ることは価値あることといえよう。

しかしながら、工事施工の経済性の追求という観点からは、工事計画作成時における経済的な施工方法の立案検討、必要資機材の経済的な調達、調達資機材の経済的運用（運搬、仮置き、組立、解体、

維持管理），使用資源の節減等々の直接的な工事費の費用特性の改善とともに，工事遅延に対するペナルティや工期内完了のための工程短縮策の所要費用の評価が，実際上の問題として重要である。このような側面の費用的評価としては，工事費用を直接工事費，間接工事費，管理費等と分類することよりも，工事の施工数量もしくは投入資源数量と比例して求められる従量的な費用と投入資源数量とそれらの拘束期間に比例するものとして求められる経時的な費用に分けて捉えるのがよいであろう<sup>13)</sup>。従量的な費用については，施工工程の基本的な構成要素である単位工程を基準として算出することが可能であり，経時的な費用については投入資源や設備の拘束使用期間もしくは工期との対応において算出することができる。

こうした側面から工事費用を捉えることによって，工事現場で行われるすべての作業について工程的な特性と費用的な特性を求めることが可能となり，投入諸資源に関してもその工程的特性と費用的特性を明らかにすることができる。したがって，工事途中において施工計画や工程計画や作業計画の改善案が提案されると，それぞれの案についての力学的な安全性と工学的な合理性のチェックを行ったのちに，さらに，それぞれの案の工程的な特性と費用的な特性を定量的に評価することが可能となる。もし，工程的な特性値が当初の工程計画の値と大きく異なる場合には，そうした変化による経時的な費用特性値への影響度を求めることが必要となろう。

このように，工事施工の経済性の追求に関しても，その工程的特性との相互関係を把握することが肝要であり，そのためには工程計画・管理の中で工事施工の経済性を評価していくことが重要であると考ええる。

## 第4節 工程計画・管理を中心とする工事計画・管理のシステム化の課題

### 1. 工事施工の多階層性を考慮した工事計画・管理プロセスの確立<sup>14)</sup>

これまでにおいて，土木工事施工における工事計画・管理の業務処理の実態，工事計画・管理における多階層特性の把握，工事計画・管理の合理化におけるシステムズアプローチの必要性と工程計画・管理の重要性について考察を加えてきた。そして，これらの考察を通して，工事計画・管理は，工事施工における生産活動のように工事に投入される各種諸資源を直接的に取り扱うのではなく，工事の施工活動で必要とされ，また，それとともに発生する工事情報の処理を行う生産計画，管理活動であることが明らかとなった。こうした情報処理という観点から改めて工事計画・管理を捉えると，次の5つのプロセスの存在を認識することができる。すなわち，

- ① 工事情報の調査・分析のプロセス，
- ② 工事施工の構想化のプロセス，
- ③ 工事実施計画作成のプロセス，

④ 工事実績情報の収集・分析のプロセス、

⑤ 施工管理のプロセス。

これらのプロセスの中で、工事施工の構想化のプロセスは施工方法、機械計画、仮設計画を立案する施工技術計画と総括的な工程計画、資源配分計画、現場施設計画、概算見積りを行う総括施工計画に分けられる。また、工事実施計画の作成プロセスは詳細工程計画、資源使用計画、作業計画および実施予算を作成する工事実施計画と、工事全体の管理目標、中間および工種別・資源別・作業別の管理目標を定め実施工程表を作成する工事管理計画に分けられよう。さらに、施工管理プロセスは、施工実績を記録し集計して工事施工の現状を把握する（狭義の）施工管理、計画値と実績値の対比分析、残工事の計画内容

の検討にもとづいて設計や施工計画を変更修正し予算を更改して実際の対策措置を講じる工事計画のフォローアップ、に分けることができる。

また、工事実績情報の収集・分析のプロセスでは、計画段階における工事実施計画にもとづく工事の実施・監督、施工実績データにもとづく施工状況の現況把握、週間・月間の作業日程の調整など日々の工事実施にともなう処理を行うものである。工事情報の調査・

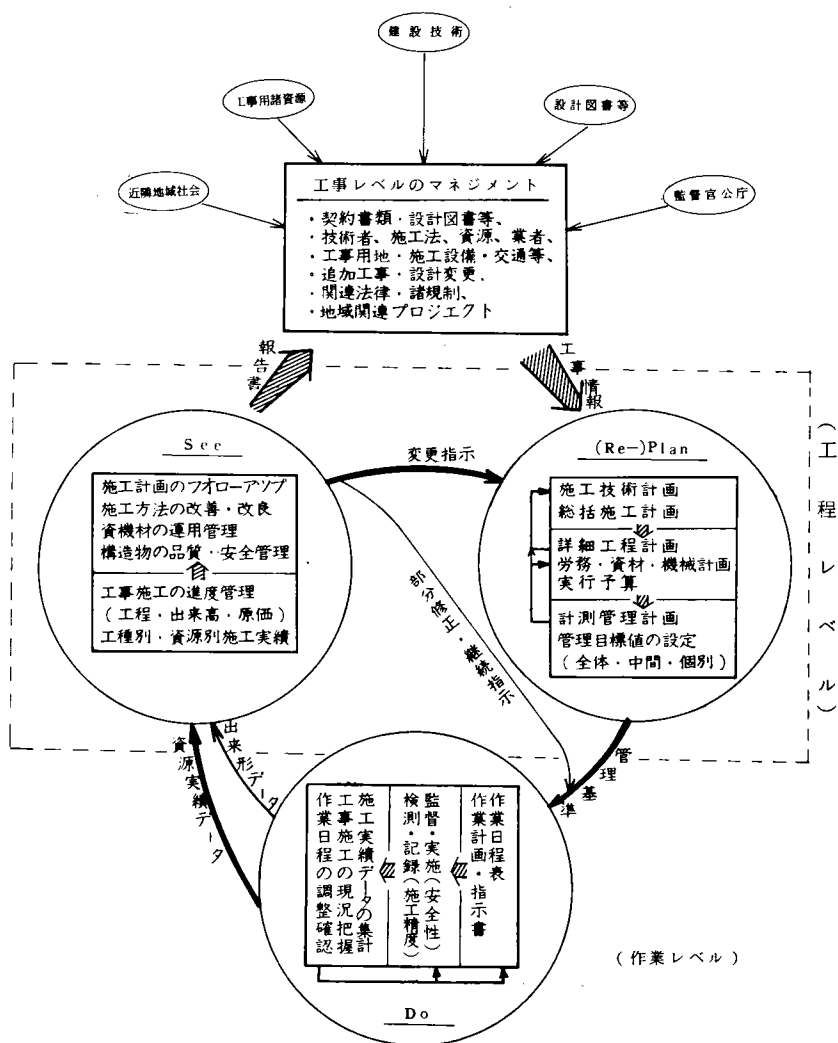


図-1.4 工事施工の多階層性を考慮した工事計画・管理のシステム概念のフロー

分析のプロセスでは、工事請負契約書類や設計図書等の検討、工事施工に必要とされる技術者、施工法、工事用資源、工事用地、施工設備、交通状況等の調査、各種法律・諸規制の検討を行って工事施工方針の立案に役立てるとともに、工事施工の管理状況に関するデータをもとに施工計画の変更や設計変更、追加工事など今後の施工方針に関わる情報の収集と分析を行うことになる。

以上の考察からわかるように、これら5つのプロセスは工事マネジメントの工事レベル、工程レベル、作業レベルと密接な関係がある。工事計画・管理における工事情報の流れを工事マネジメントのレベルとの対応関係に注目してとりまとめ、工事計画・管理システムの概念フローとして表したものが図－1.4である。この図におけるように、本研究においては、工事計画・管理システムを、工事レベルのマネジメントと工程レベルのマネジメントと作業レベルのマネジメントを工程レベルにおける工事情報の処理を通してトータルシステム化したものであるとして捉えている。このことから、工事計画・管理のシステム化は工程レベルのマネジメントシステムの構築が必須の要件であり、それは工事計画・管理の中心的な機能である工程計画・管理のシステム化を中心として進められなければならないといえよう。

## 2. コンピュータを導入した工事計画・管理システムの構築

さて、土木工事施工の計画・管理においては、作業の安全性の確保、構造物の品質水準の確保、工事期間の遵守、工事費用の経済性を基本的で主要な計画・管理要素とし、作業員、機械、資材を個別的で直接的な計画・管理対象としている。そして、これらの各要素や各対象は工事施工の構成単位である各作業の内容とそれらの空間的・時間的な配列の状態、つまり、施工工程の構造の状態によって様々に変化し、複雑な挙動を示すものとなる。

工事計画の作成にあたっては、施工の安全性や構造物の品質水準の確保、工事日程の確立とそれらもとづく施工進度の把握、さらには工事施工の経済性の追求と工事費用の発生状況の分析など、工事施工を多面的に捉えていくことが必要となる。そうしたときに、工事計画作成上の問題を合理的に解決していくうえで、施工工程の構造を明確に把握しておくことが必要不可欠なこととなる。

また、土木工事の施工段階においては、工事の進行とともに施工条件や環境条件が逐次変化を示し、さらには設計内容の変更などのように工事内容そのものが変更されることすら珍らしくはない。これらの要素や条件の変化や変更は施工工程の内容と構造の変化をもたらすことになる。そうした状況のもとでもなおかつ、工事計画・管理の目標を満足のいく水準で達成していくためには、工事の施工工程の構造を明示的に表すとともに工事の進行とともにそれが変化する状況をも明らかにすることのできる方法を確立する必要がある。近年のように、工事施工に対する諸制約が厳しくなり、個々の作業レベルの問題や個々の管理要素に関する問題が工事施工の全体的な管理目標にも強い影響を及ぼすようになってくると、そうした方法の確立の必要性はますます増大してきているといえよう。



施工工程のスケジュールを表す方法としては、バーチャート工程表や座標式工程表やネットワーク工程表など種々のものがある。PERT・CPMとして一般に知られているネットワーク手法は施工工程を構成する各作業の所要日数と投入資源数量および作業間の順序関係を与えて工事全体のスケジュールを求めようとするもので、施工工程の構造を明示的に表そうとする代表的な手法であるといえる。しかしながら、ネットワーク手法による工事施工のスケジュール作成のケースを考えてもわかるように、工事の施工工程を中心として工事計画・管理や工程計画・管理を実体的に進めていくには、一般には、膨大な量の工事情報の高度に複雑な処理を要するのが普通である。このために、工事計画・管理や工程計画・管理のトータルシステム化にあたってはコンピュータシステムの導入・利用が不可欠であると考えられ、それをどのように工事計画・管理や工程計画・管理の中に組み込み、それを有効に利用するシステムをいかに確立していくかが土木工事施工の合理化にとって重要な課題であるといえよう。

図-1.5は、  
前述の図-1.4  
の工事計画・管理のシステム概念のフローに対して、本社・支店に設置する大型コンピュータと各工事現場に設置する小型コンピュータを利用する工事情報処理システムを導入することにより、工程計画・管理を中心とする工事計画・管理システムの構想を明らかにしたものである  
15)。このよう

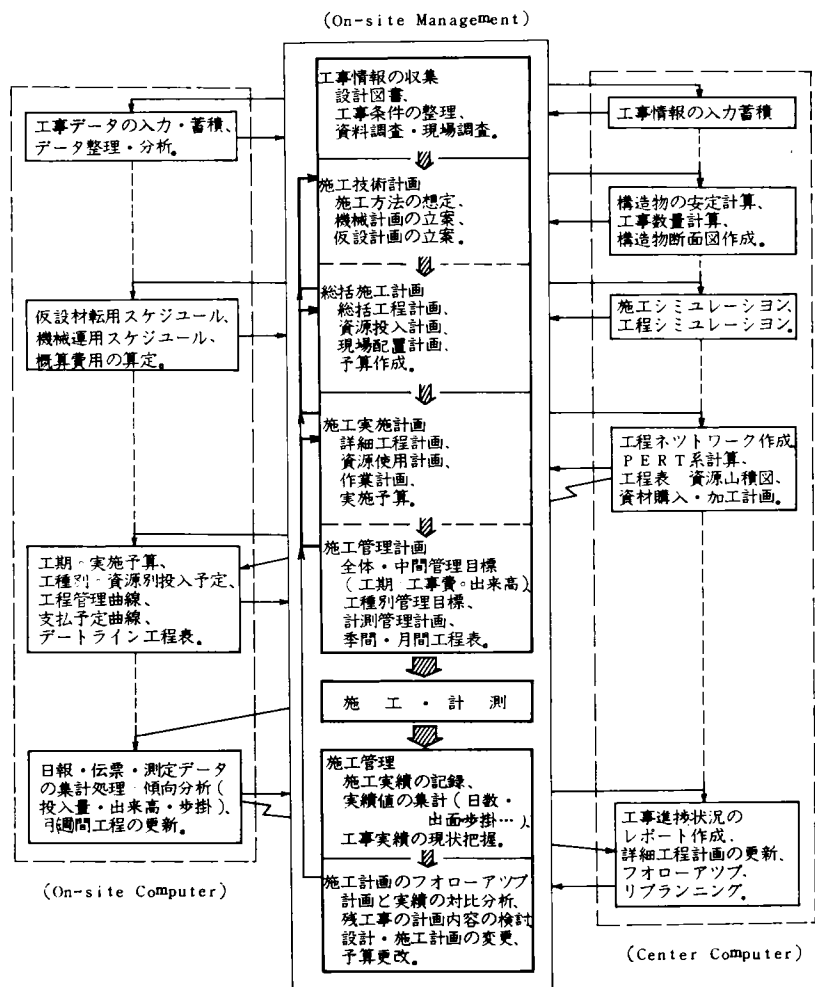


図-1.5 工程計画・管理を中心とする工事計画・管理システムとコンピュータを利用した工事情報処理

に、工程計画・管理を中心とする工事計画・管理システムの概念にもとづいて、工事現場に設置された小型コンピュータを工事現場管理実務の中で運用していく方法を開発し、工事計画・管理で必要とされる工事情報処理システムを確立していくことが、工事計画・管理の合理化における重要な課題であると思われるものである。

## 第5節 本研究の内容

まず、第1章序論においては、土木施工の合理化の一環として工事計画・管理システムを位置づける本研究の目的を明らかにする。そのためには工事施工業務や現場管理業務との対応関係が明確にされなければならないとして工事施工内容の分解・統合の過程および工事レベル、工程レベル、作業レベルという現場管理業務に認められる多階層性に着目することによって、多階層なトータルシステムとして工事計画・管理システムを構築することの必要性を明らかにする。そして、その間に、他の用語との関係において工事計画・管理の対象や範囲について考察する。

さらに、工事施工における主要な計画・管理要素である安全性、品質、工程、経済性について工事レベル、工程レベル、作業レベルとの関わりという観点から考察することによって、工事計画・管理は工程に関する計画・管理を中心として行われることを明らかにする。また、工事計画・管理の合理化は工事の計画段階、実施管理段階における施工情報の処理プロセスの確立と密接な関係があり、そのためには、コンピュータシステムの導入が不可欠であることについて述べる。

以上の考察のもとに、トータルシステムとしての工事計画・管理システムの構築は施工情報処理のプロセスを効果的に組み込んだ工程計画・管理システムの構築を中心として行うのが合理的である、という本研究の有効性を第2章以下の各章における実証的研究を通して明らかにすることとする。

第2章においては、工事計画・管理に関するシステム論的な考察のもとに、工程計画・管理のトータルシステムの構築の方法を中心として論じることとする。

そのために、まず、工事計画・管理のプロセスの中で工程計画・管理の課題について言及し、工程計画・管理のシステム化は工事計画・管理における工事、工程、作業という3つのマネジメントレベルと概略対応する総括工程、詳細工程、月(週)間工程という3種類の工程レベルを中心として行われることについて述べる。そして、それぞれのレベルにおける工程計画・管理のシステム的な特徴について考察する。工程計画・管理のシステム化は計画段階におけるシステム構築が先決で基本的な要件であり、その構築にあたっては実際の工事状況を実体的に表わすことのできるように配慮すべきである。こうした考えのもとに、工事の施工単位と全体工程計画の構成要素との対応について考察し、さらに、それらの構成要素の間に認められる半経験的な関数的関係の定性的な特性を明らかにする。工程計画・管理に用いることのできる手法・技法には種々のものがあるが、工程計画・管理のトータル

システムの構築という観点からはネットワーク手法，なかでもプレシーデンス型ネットワークの適用がもっとも望ましくかつ实际的であり，この方法による合理的な工程計画の作成方法を提案する。これらを実証するために大阪市南部の地下鉄工事に適用して工程計画・管理の実務における有効性を実証する。

第3章においては，工事施工の構想化の段階における工程計画問題を取り扱う総括工程計画について考察する。総括工程計画の主要な構成要素である単位工程として施工ブロックと構造物部位とで区分される施工ユニットを用いるのであるが，その一般的な特性について，まず考察する。次いで，総括工程計画作成の基本的な考え方を明らかにする。総括工程のスケジュール作成の方法として工事種類や構造物種類のそれぞれの施工特性に応じた方法や手法を採用すべきであるという観点に立って，総括工程計画代替案の評価方法と評価要素について一般的な考察を行う。総括工程計画のモデルとしては地下鉄工事の掘削工と構築工を取り上げることとする。両者は地下鉄工事における主要な工種であるが，土工工事と鉄筋コンクリート工事というように全く施工特性の異なる工事である。しかも掘削工事が終わるとすぐに構築工事に取りかかるというように，工程的にも両者は直接的に密接な関係がある。したがって，それぞれの工種に個々の工程計画問題を解決しつつ，両者の工程的関連性を明らかにすることは一般の土木工事における総括工程計画の作成方法の合理化に寄与するものと考えられる。まず，総括工程計画の単位工程である施工ユニットについては地下鉄構造物の施工ブロックと構造物部位への分割を通して，つまり構築工事における施工ユニットを基準として掘削工事における施工ユニットを設定することにする。これによって両者の工程上の関連性が明確にされる。掘削工事のスケジューリングの問題はブルドーザ，クラムシェル，ダンプトラックからなる機械系の選定問題と各施工ユニットの日程問題として捉えられるので，両者を同時に考慮することのできる離散型汎用シミュレーション言語GPSSによるシミュレーションモデルを適用する。構築工事の総括工程計画レベルの問題としては，その主要な工事用資源である型枠材の転用計画を上げることができる。ここでは，詳細工程計画との整合性をも考慮してネットワークモデルを適用することとして，型枠材の転用経路の評価を含むスケジューリングの方法を提案する。これらを地下鉄工事に適用することにより，その有効性を実証する。

第4章においては，実施計画作成段階における詳細工程計画のスケジューリングとそれに関連する計画問題について考察する。詳細工程計画のレベルにおいては，総括工程レベルにおけるように概略的で標準的なスケジュールではなく，工事全体の作業日程とそれらに投入される各種の工事用資源の運用スケジュールを実際の工事の施工状況に即して定める必要があり，PERT等のネットワーク手法の適用がもっとも適切であるといえよう。これまでの研究において，施工計画・工程計画の作成にあたっての全般的な課題の整理を行っているので，ここでは，詳細工程計画の作成に直接的に関わっている課題の整理を行う。ネットワークモデルによるスケジュール計算法の中で，一般にPERT/TIMEと呼ばれるスケジュール計算法はすでに確立されているが，実施計画作成に必要とされ

るPERT/MANPOWERと呼ばれる山崩し計算法によるスケジュール計算にはいまだに問題点が存在している。本研究においては、山崩し計算法における作業着手の優先順位の規則に適用される各種指標について考察し、それらの適用方法を明らかにする。また、詳細工程計画の評価のための資源山積み図の評価モデルを提案する。実施計画としての機能が要求される詳細工程計画の作成にあたっては、ネットワークモデルによるスケジューリングのアルゴリズムの適合性と同時に、工程計画作成に必要とされるインプットデータの処理やアウトプットされる工程表や資源山積み図の作成が工事現場の計画・管理業務の中で行うことができるように適切に設計されていなければならない。ここでは、工程計画データ作成の前処理、作業データと順序関係データの入力処理、工程表と資源山積み図の作成のプログラムの設計について考察し、それらを用いての詳細工程計画の作成を地下鉄駅部工事に適用する。詳細工程計画が作成されると、それにもとづいて各々の作業の実施上の問題点が実際の施工状況を想定して種々の観点から検討される。その代表的な事例として大規模ケーソン工事のコンクリート打設作業についてシミュレーションモデルによる解析事例を示すことにする。

第5章においては、前章までにおける工程計画のトータルシステム化の方法に関する研究と対応する、工程管理のシステム化の方法について考察する。総括工程計画や詳細工程計画は計画作成の時期と目的と精度が異なるものであったが、工事の実施・管理段階においては工事の進捗状況と今後の施工状況を総合的に把握して工事施工上および工事計画・管理上において取るべき対策を明らかにすることがもっとも重要なことといえる。つまり、工程管理のシステム化は、単に工事の日程管理のシステム化ではなく、工事管理のシステム化に直接的に結びついたものとなってはじめて意味があるといえる。こうした観点から、工事の実施予定と月(週)間の管理を示す月(週)間工程表の作成方法としてデートラインカットオフ法を援用した方法について述べ、次いで、工事日程の更新と修正のためのネットワークモデルのフォローアップの方法について考察する。これによって全体工程レベルと部分工程レベルとの整合性および工程計画と工程管理の対応関係が明らかにされる。さて、工事の進捗状況を把握するためには日々の施工実績記録が必要とされるが、すべての工事現場において必ず作成されている工事日報の利用が考えられ、その利用方法と適用効果について事例を通して考察する。ネットワークモデルと工事日報を結合させた工程管理の方法は作業のレベルを中心とするミクロな管理であるといえ、それらから工事全体のマクロな管理へと結びつけることは今後の課題である。そこで本研究においては、各月(週)の施工実績をプロットして求められる出来高曲線の形状と工期や経済性の諸指標との統計的な分析にもとづいて、出来高曲線を利用したマクロな進捗管理の方法について考察し、総合的な工程管理の方法を明らかにする。

第6章においては、工程計画・管理のシステム化の方法に関するこれまでの研究成果をもとに、工程管理を中心とする工事管理システムの開発に関する研究を行う。

工事管理や工程管理は対象とする範囲が広くかつまた多階層的である。そして、関連する管理要素

も多種多様であり、取り扱うデータも多量になることが予想される。したがって、そのシステム化はコンピュータの導入と利用を前提としたものとなるが、本社・支店に設置されている大型コンピュータと工事現場に設置する小型コンピュータを有機的に結合させることにより、両者の機能分担的な情報処理のもとで運用される工事管理システムの概念とシステム開発にあたっての検討課題を明らかにする。ここでは、前章で考察した工程管理システムを組込んだ工事管理システムの開発を行う。大型コンピュータによる工程管理の方法についてはすでに前章までにおいて実証的に明らかにしており、本章では、現場設置の小型コンピュータの利用を中心とする工事管理システムの設計事例について考察する。また、工程計画と工程管理を結合させてトータルな工事管理システムの構築の基礎を与える施工実績情報処理システムに関しても、現場技術者が工事日報データを直接入力することのできるシステムを設計するとともに、それをを用いて作成した実績工程と事前に作成されている計画工程とを対比することにより、合理的に工事の進捗状況が管理されていくことを、地下鉄駅部のモデル工事への適用を通して実証的に検証することとする。

第7章においては、本研究における研究成果をとりまとめることにより、本論文の結論を述べる。

## 参 考 文 献

- 1) 川崎健次：建設工事における工務管理の合理化に関するシステム論的研究，学位論文，1974．
- 2) 春名攻・田坂隆一郎：工事管理計画のシステムズアナリシスの方法と問題点について，第31回年次学術講演会概要集第Ⅳ部，PP. 90～91，土木学会，1976．
- 3) 土木施工編集委員会編：土木工事施工例集'78年版1巻～7巻，山海堂，1973．
- 4) たとえば，川崎健次・春名攻・西野久二郎・田坂隆一郎・折田利昭・安井英二：土木工事における施工計画・管理システムに関する研究，第1回土木計画学研究発表会講演集，PP. 124～141，土木学会，1979．
- 5) 施工情報システム小委員会：土木工事のマネジメント問題と施工情報システムへのアプローチ，土木学会誌，Vol. 68，PP. 67～71，1983．
- 6) たとえば，佐用泰司：工事管理（全訂新版），鹿島出版，1974．
- 7) たとえば，堀松和夫：土木工事現場管理，理工図書，1967．
- 8) たとえば，吉野次郎：建設技術者のための施工管理，山海堂，1975．
- 9) 春名攻・田坂隆一郎：工事施工の多階層構造特性を考慮した工程計画・管理のシステム化，第3回土木計画学研究発表会講演集，PP. 253～262，土木学会，1981．
- 10) 春名攻：建設工事における施工管理に関するシステム論的研究，学位論文，1971．
- 11) 田坂隆一郎：建設工事における安全施工へのアプローチ，積算ジャーナル第33号，PP. 12～15，経済調査会，1980．
- 12) 春名攻・田坂隆一郎：土木施工における工程計画・管理のシステム化に関する実証的研究，第5回土木計画学研究発表会講演集，PP. 638～647，土木学会，1983．
- 13) 前出1)，PP. 183～243．
- 14) 前出9)および12)．
- 15) 川崎健次・田坂隆一郎・西野久二郎・折田利昭・安井英二：現場における工程計画・管理システムーオンライン化へのアプローチー，第4回土木計画学研究発表会講演集，PP. 554～564，土木学会，1982．

## 第2章 工程計画・管理のトータルシステム化の方法に関する研究

### 第1節 緒 言

土木工事施工における計画・管理問題は、構造物の品質水準の確保や作業の安全性の確保に関わる計画・管理問題、工事施工のスケジュール作成や各種工事用資源の調達運用さらには工事施工の経済性の追求に関わる計画・管理問題など、その範囲は広くまた多階層的で考慮すべき要素も多様である。このように複雑な様相を呈している工事計画・管理問題に対しては、工程計画・管理を中心とする工事計画・管理システムを構築することによって、総合的にかつ実体的に対処することができる。すなわち、工事施工における構造物、工種、作業という3種類の施工単位との対応関係から、工事計画・管理の内容を工事レベル、工程レベル、作業レベルという3つのマネジメントレベルに分解することにより、全体的な工事計画・管理問題を各レベルにおける部分的な計画・管理問題として分析的に取り扱うことができると同時に、それら3つのレベルにおける総合化の過程をとおして部分的かつ個別的な計画・管理活動を合理的にかつ効果的にトータルシステム化していくことができる、ということをも、前章において明らかにした。

本研究においては、このような工事計画・管理に関するシステム論的な考察をもとに、工事計画・管理の中心的な機能と役割を果すところの工程計画・管理のトータルシステム化の方法について実証的な考察を行うこととする。すなわち、まず、工事計画・管理のプロセスに注目して工程計画・管理の課題について概観する。次に、工程計画・管理のトータルシステム化という観点から、構造物、工種、作業の3種類の施工単位と概略に対応する総括工程、詳細工程、月(週)間工程(もしくは作業工程)の3種類の工程レベルを中心として、工程計画・管理のプロセスについて考察する。そして、工程計画・管理のシステム化は、計画段階におけるシステムの確立が先決であり、重要である<sup>1)</sup>という考えにもとづいて、工事の施工単位と全体工程計画の構成要素との対応関係および工程計画構成要素の定性的特性について考察する。このような全体工程計画に関する考察にもとづいて、本研究においては、工事の施工単位とネットワーク上のノードが1対1に対応しているプレシーデンス型ネットワークを適用することとして、これを中心とする工程計画・管理のシステム化の方法を明らかにする。そして、ネットワーク手法による全体工程の計画・管理について大阪市南部の地下鉄工事への適用事例を通して本研究の成果を明らかにする。

## 第2節 工事施工における工程計画・管理の課題の整理

第1章において、工事施工における計画・管理のプロセスは次の5つによって段階的に表されることを明らかにした。

- ① 工事情報の調査・収集のプロセス、
- ② 工事施工の構想化のプロセス、
- ③ 工事実施計画作成のプロセス、
- ④ 工事情報の収集・分析のプロセス、
- ⑤ 施工管理のプロセス。

ここでは、これらのプロセスと対比させて工程計画・管理上の課題を考察することによって、工事計画・管理におけるそれらの課題の位置づけを行うこととする。

### 1. 工事情報の調査・収集のプロセスにおける課題

土木工事は、工事着工に先立って工事内容を示した設計図書等の工事関係書類を入手して、工事の実施および工事計画・管理に必要なとされる工事情報の調査と収集を行うことになる。表－2.1は地下鉄工事の施工計画関連資料一覧を示し、表－2.2は工事に必要とされる調査項目をとりまとめて示し

表－2.1 地下鉄工事における施工計画関連資料一覧

①	線路平面図、線路縦断面図および構造図、地下構造物設計図、地下工事標準構造図および参考図集、防水工標準図。
②	地下工事標準仕様書、特記仕様書、補足説明事項、共通仕様書・道路工事（大阪市土木局）、「施工計画書」検討のための参考資料（開さく編）。土木工事取扱い要綱、大阪市道路占用工作物工事執行規則、市街地土木工事公衆災害防止対策要綱、道路工事防災指導基準（大阪市消防局）、大阪市交通局会計事務取扱細則、高速鉄道建設用材料機器の事務取扱要綱。
③	鉄筋コンクリート標準示方書（土木学会）、コンクリート標準示方書（土木学会）、溶接鋼道橋示方書（日本道路協会）、鉄筋のガス圧接標準仕様書（案）（日本ガス圧接協会）、薬液注入工法暫定取扱基準（案）、道路掘さく及び路面復旧工事共通仕様書（近畿建設協会）。
④	建設業法、道路法、道路交通法、労働基準法、職業安定法、公害対策基本法、火薬類取締法、埋設物保安協定、消防法、日本工業規格。

表－2.2 工事内容に関する調査

調査項目
① 工事内容：工事名称、工事場所、工期、請負金、発注者、設計図書、工事用途、施工形態など
② 立地条件：地質、地盤、気象、海象、水文条件、地形条件
③ 着工手続きと用地解決状況：河川、港湾、道路、地下埋設物等管理上の諸規制用地買収
④ 工事現場周辺への影響：騒音、振動、地盤沈下、地下水位低下、汚染
⑤ 本設、仮設の施工法および作業方法
⑥ 機械、設備の選定、労務・資材の調達：標準作業歩掛、能力、単価
⑦ 現場管理組織の編成
⑧ その他、契約上・施工上の問題点



たものである。これらの事項について資料を調査し、情報を収集することにより、工事の内容とそれに関わる諸条件を理解して工事施工上の問題点の所在の究明に努めることになる。この段階が前章で述べた「工事情報の調査・収集のプロセス」に相当する。

工事情報の調査・収集のプロセスでは工事施工上の技術的な問題点、工事期間と施工方針に関する問題点、近隣地域社会への影響をも含めての現場運営上の問題点など工事着手に先立って解決しておくべき課題を漏れなく抽出することが重要である。

## 2. 工事施工の構想化のプロセスにおける課題

次には、工事施工に関わるそれらの諸問題に対する個別的な解決策を種々の側面から検討するとともに、工事全体の制約をも満足するように総合的な観点からの調整を行って、工事の施工方針を明らかにしなければならない。この段階が前章における「工事施工の構想化のプロセス」に相当するのであるが、工事の施工方針を具体的に定め、工事計画・管理の枠組みを規定する重要な段階であるにもかかわらず、現場技術者の個人的能力と経験に負うところが少なくない分野であった。そのために、この段階においては各構造物断面に対する施工段階ごとの安全性の事前解析や各種施工方法の利害得失等の検討に際しても個別的な観点に片寄ることとなり、工事全体の施工方針や資源配分の検討にはバーチャート工程表や座標式工程表などを用いて概略的に実行可能性を検証する程度に限られることになる。しかしながら、近年の土木工事は工事期間が実質的に短縮化され、資源調達に対する制約も厳しくなっており、施工技術的な側面からの個別的な検討のみならず、工事全体の運営管理という観点においても、十分に合目的であることが要求されるようになってきている。つまり、個々の構造物の施工方法や主要工事用資源の調達と運用や工事施工の経済性などの諸問題を工事の全体期間にわたる施工工程の中で体系的に捉え、総合的な観点から評価・検討する「総括工程計画」の策定が重要な課題となる。

## 3. 実施計画作成のプロセスにおける課題

さて、個々の構造物の施工方法に関する技術的な事前検討と主要な工事用資源の運用方法に関する総括的な計画が作成されると、次には、それぞれの工事について、施工仕様、力学的計算、材料・資材・機械の配置、施工方法、施工手順、資機材の搬入・搬出、工程表、使用機械・資材一覧、用地占用、公害対策などに関して計画内容を詳細にわたりかつ具体的に検討することになる。こうした個別の施工計画および作業計画が作成されると、それらを工事全体として取りまとめることにより各工種および各種資源ごとに資機材の調達計画と使用計画を作成するのである。施工計画に関連する諸計画とその内容は表-2.3に示すとおりであるが、これらの計画内容は工程計画の内容に支配されることになる。これは、同じ作業計画で同種類同一数量の工事用資源を用いて施工するにしても各構造物の

施工順序や各種工事用資源の運用順序を変えた場合には、その関連諸計画の内容は異なったものとなってしまふからである。また、この段階における工程計画は、もちろん総括工程計画の枠内で作成することになるが、投入可能な工事用資源の種類と数量にはある範囲が存在し、そのために数多くの代替案が考えられることになる。したがって、それらの代替案の中から実行可能で、しかも、最適代替案を選択することが重要になる。そのためには、工程計画の構成要素である単位工程が実際の工事における作業単位や資源運用単位と対応できる程度に詳細に表されていることと、各種工事用資源の投入数量や運用順序に合わせて工程計画の内容を意図的に操作できることが必要である。この段階の工事全体の工程計画をここでは詳細工程計画と呼ぶことにする。

表－2.3 施工計画に関連する諸計画

施工計画要素	計 画 内 容
工 程 計 画	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 施工法の選定</li> <li>○ 仮設計画の作成</li> <li>○ 施工数量の算出</li> <li>○ 工程の配分</li> </ul>
機 械 計 画	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 機械機種を選定</li> <li>○ 運用順序の決定</li> <li>○ 機種別延べ拘束日数</li> </ul>
仮設資材計画	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 仮設資材種類の選定</li> <li>○ 転用回数・転用順序の決定</li> <li>○ 資材種類別延べ拘束日数</li> </ul>
本設材料計画	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 材料別・規格別数量の算出</li> </ul>
現場施設計画	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 施設・資機材の用地計画</li> <li>○ 電力・用水計画</li> <li>○ 搬入路・取付道路計画</li> </ul>

#### 4. 施工管理のプロセスにおける課題

工事実施段階においては、通常、1ヶ月間あるいは1週間の管理期間を設定し、それぞれの期間ごとに工事の実施予定表を作成し、それにしたがってすべての作業を実施していくのが普通である。しかし、土木工事の場合、計画段階においては不確定な事項や条件の存在することが少ないために、各期間における工事の実施予定表は工事全体の詳細工程計画の内容と全く一致しているということはほとんどないと言っても過言ではない。また、工事の施工状況や進行状況に合せて施工方法や作業スケジュールを変更することも多い。このため、日々の施工実績を記録し、それを1週間や1ヶ月間の単位期間ごとに集計して工事の進捗状況の実態を把握することは、計画内容と実績値を対比分析し、今後の方針の検討と工事進行の見通しを立てるうえで重要なことといえる。施工管理計画は、工期や工事費用などの工事全体の管理、各種工事用資源の運用管理、各構造物や各作業の技術的あるいは安全衛生的な管理に関して全体的もしくは個別的な管理目標（基準）を設定するものである。施工管

理計画が有効に機能するための要件としては集計把握された施工実績値と対比可能であること、施工実績値の内容に応じて今後の計画内容を更新あるいは修正し目標値に照してその良否を評価できると、が上げられる。通常の方法で作成された施工計画や工程計画であっても上述の要件を満足するものならば、施工管理計画として利用することが可能である。つまり、通常作成されている施工計画や工程計画は工事を実施するためのものであるが、これらに対して上記の要件を満す機能、すなわち、計画内容のフォローアップ機能を与えることによって施工管理計画として適用することができる。

もちろん、施工計画や工程計画の内容を包括的にとりまとめたり、個別的にあるいは期間別に抽出して管理目標値として用いることも可能である。本研究においては、工事全体のマネジメントを工事、工程、作業という管理目的と管理対象・範囲を異にする3つのマネジメントレベルに階層的に分類するとともに、工事マネジメントの中心となる工程計画・管理機能についてはそれぞれのレベルと対応させて総括工程、詳細工程、月（週）間工程を設定している。さらに、これら3つの工程レベルは工事内容の分解と統合の関係を通して相互に関連づけられているので、工程計画・管理機能の中に工程のフォローアップ機能を付加させることによって、容易に工事計画・管理もしくは工事マネジメントのシステム化に結びつけることができると考える。

### 第3節 トータル化のための工程計画・管理のプロセス

#### 1. 工程計画・管理のシステム化のプロセス

前節において、工程計画・管理は工事計画・管理と密接な関係にあって、その内容は工事計画・管理プロセスの中で中心的な機能を果していることを明らかにした。その中で明らかにされた工程計画・管理の課題と筆者が提案している、それらの課題を解決するための各種手法を、工事計画・管理プロセスとの対応において体系的にとりまとめ、それをフロー図として表すと図-2.1のよ

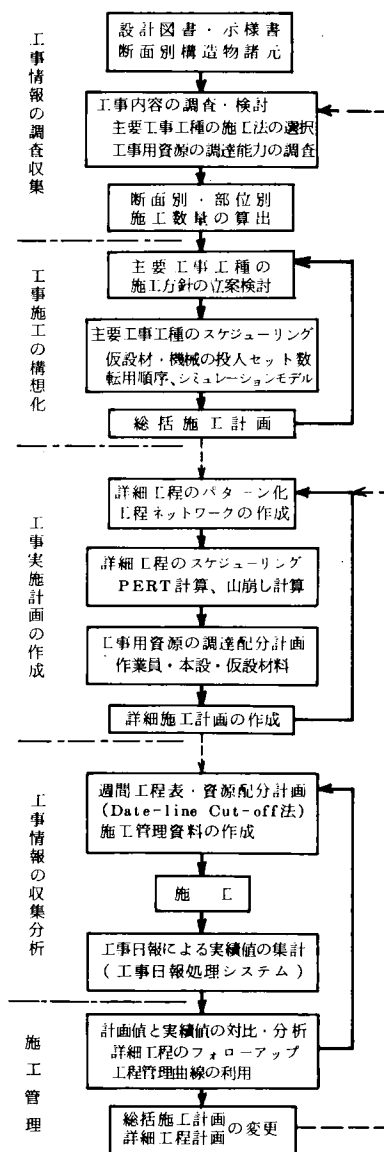


図-2.1 工程計画・管理のトータルシステムフロー

うになる。このフロー図は、本章ならびに第3章以降の各章で明らかにしているように、実際の工事における工程計画・管理への適用をとおして得られた個別的な研究成果を総合的に検討して、本研究における工程計画・管理のトータルシステムの構想を示すものとして体系的にとりまとめたものである。つまり、工程計画・管理のトータルシステム化を図るためには、工事計画・管理のプロセスとの対応において、工程計画・管理のプロセスを次のように表すとよい、と考えるのである。すなわち、

- (プロセスⅠ)：工事情報の作成段階における施工数量算出などの工程計画諸元の作成、
- (プロセスⅡ)：工事施工の構想化段階における主要工事工種のスケジューリングなどの総括工程計画の作成、
- (プロセスⅢ)：工事実施計画の作成段階における詳細工程のスケジューリングや工事用資源の調達配分計画などの詳細工程計画の作成、
- (プロセスⅣ)：月(週)間工程表と施工管理資料の作成や、工事日報による実績値の集計などの工程実績データの作成、
- (プロセスⅤ)：計画値と実績値の対比分析、工程計画のフォローアップなどの工程管理。

これらの中で、総括工程計画と詳細工程計画は全体工程計画の作成に関するものであり、この点において月(週)間工程計画と異っている。また、工程計画のフォローアップは工程計画の修正の程度によって総括工程レベル、詳細工程レベル、月(週)間工程レベルのいずれを対象とするかが定められることになる。

また、このように、全体工程計画を3つの部分計画に分解することは、複雑で包括的な工程計画問題を、それぞれのレベルに特有な比較的単純で個別的な工程計画問題として取扱うことを可能にするばかりでなく、工事受注から個々の作業着手までの期間に施工計画内容が総括的なものから個別的な計画へ順次具体化されていく状況を表現することができる。また、工程計画・管理は、詳細工程計画にもとづく月(週)間工程計画の作成と工事日報による工事实績値の集計が相互に関連し合っとなされることにより、全体として一貫した方針のもとに、つまり、トータルシステムの構想のもとに行われることがわかるであろう。

以下では、上記3種類の工程計画の概要とフォローアップについて述べ、本研究における工程計画・管理のシステム化の構想を明らかにすることとする。

## 1.1 総括工程計画作成のプロセス<sup>4)</sup>

工事が決定すると、まず、設計図書、仕様書、現場施工条件、施工法、工事用資源などの工事情報を収集するとともに、現場事務所の開設に必要な諸手続きが取られる。そして、工事の施工方法に関する代替案を力学的安全性や工学的合理性という観点から評価して施工技術計画を立案することになる。それらの施工計画代替案は主要な工事用資源の運用方法や工事工程の配分に関して工事全体にわた

って総体的にバランスの取れたものであることが必要である。総括工程計画はそのような工事施工の構想もしくは現場運営方針を具体化していくものとして位置づけることができる。

従来は、バーチャート工程表のような簡単な方法で工事期間の割り振りと概略の全体スケジュールを設定して大雑把な進捗状況を検討する程度であった。しかしながら、この段階は工事期間の割り振りと主要工事用資源の配分を通して現場運営の基本的方針と工事内容の骨格を形成する重要な時期であり、工事全体のスケジュール作成や工事用資源の運用計画作成のための合理的な方法の導入が必要であると考えられる。

全体構造物をいくつかの施工ブロックと構造物部位とに区画して得られる構造物部分は構造物形状を示す最小の施工単位であり、ここではこれを施工ユニットと称することにする。本研究では、この施工ユニットを総括工程計

画における単位工程として用いることにより、工事計画・管理上の諸制約を施工ユニットを通して考慮し、主要な工事用資源の運用スケジュールを施工ユニットの施工工程の決定問題として取扱うことにする。図-2.2は、本研究における総括工程計画作成の概略フローを示したものであり、各施工ユニットのスケジュール作成を通して仮設資材や機械系の投入セット数とその運用順序を定めようとすることが特徴的である。こうした目的に沿う工程計画手法として、個々の工事種類の施工特性と各種工事用資源の運用特性を考慮したネットワーク手法やシミュレーション手法の導入を図ることとする。

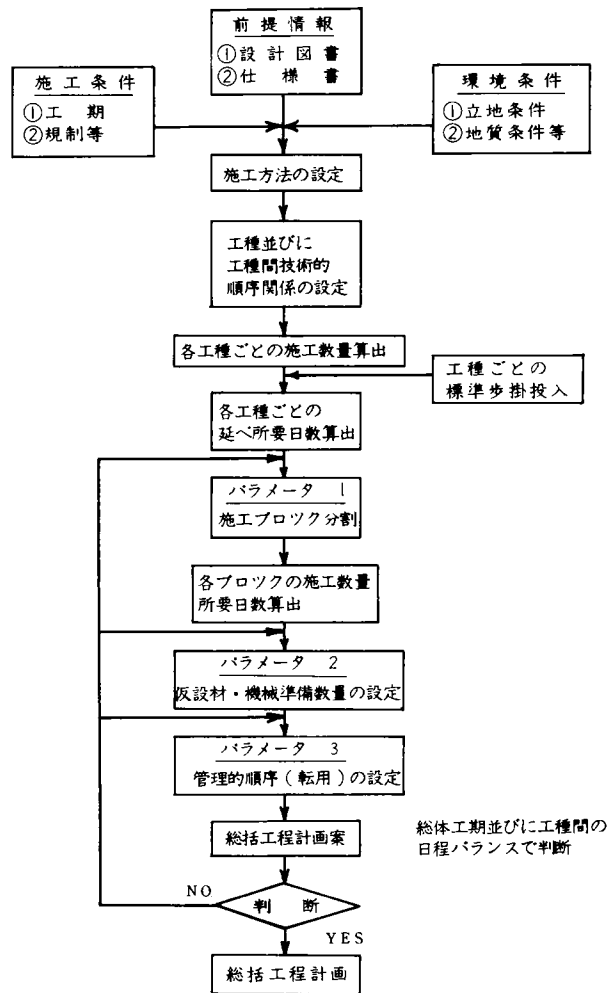


図-2.2 総括工程計画作成のフロー

## 1.2 詳細工程計画作成のプロセス

総括工程計画を作成して工事施工の基本的方針が策定されると、次には、総括工程計画の枠内で詳

細かつ具体的な実施計画を作成することが必要となる。

土木工事は、一般に、施工対象となる本設材料や仮設資材の種類、投入機械種類によって施工技術的側面から特定化される工事内容あるいは作業内容の種類、つまり、工種を中心的な単位として施工していくのが普通である。それぞれの工種はそれらの工事や作業を専門的に行う技能職種ごとに作業グループを編成し、作業の実施は各工種に投入される作業グループとそれらの作業グループが取扱う資材種類を1つのまとまりある単位として行われる。したがって、工事用資源の運用という観点から工事の施工工程を捉えるならば、工種別作業のスケジュールに注目すればよいことになる。

一方、施工ブロックと構造物部位とで区分されている施工ユニットは、各施工ユニットを構成する本設材料とそれらを所定の形状・寸法に組立て構築していくのに必要な仮設資材に対する作業内容と、それらの施工順序によってその内容が表わされる。

以上のことから、各施工ユニットを工種別作業、つまり工種レベルの単位作業に分解してそれを単位工程として設定するとともに、各単位作業間の順序関係を各施工ユニットの施工順序および各種工事用資源の運用順序にしたがって設定することにより、詳細工程計画が組み立てられていくことがわかる。したがって、詳細工程計画の作成は各施工ユニットの構築に関わる制約と工事用資源の運用に関わる制約を同時に満すものでなければならない。図-2.3は、このような詳細工程計画作成の概略フローを示したものであるが、計画作成時期と単位工程の定義とから明らかなように、総括工程計画における決定事項を与件とすることにより両者の整合を保つことができる。又、施工ユニットが複数の単位作業で構成される工事種類では、一般に構造物の施工順序は各工種で用いる工事用資源の運用順序にはば従属する動きを示すこととなり、工事全体で捉えた作業間の順序関係は両者の順序関係を重ね合せた網目（ネットワーク）状を呈していることがわかる。こうしたことからこの段階の工程計画手法としてPERTをはじめとするネットワーク手法の適用が望ましいことがわかるであろう。従来、土木工事の工程計画にPERTの導入が図られてきたが、それは主に詳細工程計画を対象として用いられたものがほと

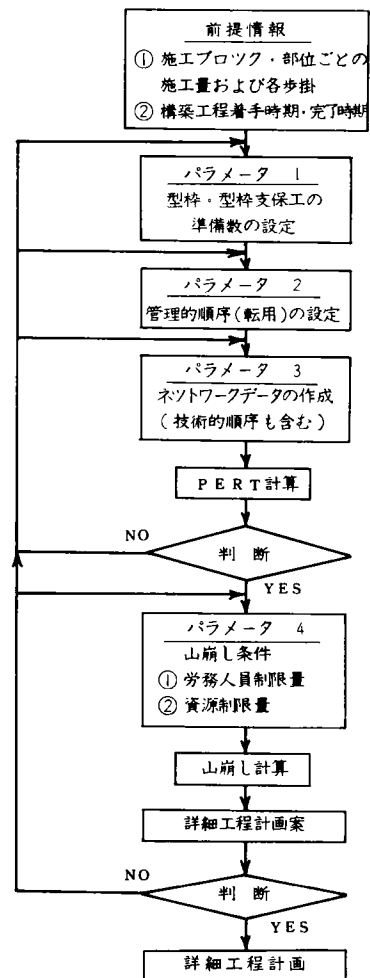


図-2.3 詳細工程計画作成のフロー

んどである。本研究では、総括工程計画との整合、つまり工事施工の基本的方針のもとで詳細工程計画の作成を行うように、ネットワークモデルによる詳細工程計画作成法<sup>5)</sup>を提案している。

以上の説明からわかるように、総括工程計画と詳細工程計画は工事全体にわたる工程計画を作成するためのものであるが、機能的には次のような相違がある。

すなわち、総括工程計画は総体的な工事期間の制約の中で各工事の日程的なバランスが取れるように主要工事用資源の投入数量と運用順序を定め各施工ユニットの概略スケジュールを決定するものである。その際、当該工事で想定される種々の施工条件のもとで各種の施工方法の利害得失を比較評価するので、その結果もっとも望ましい代替案として選定された施工方法による総括工程計画は当該工事の運営管理に関する骨格を形成するものとなる。一方、詳細工程計画は、総括工程計画の段階で決定された工程計画諸元、その時点までに求めた各工種・各作業の作業特性値および工事施工条件を既知条件として与えて、すべての工事用資源の使用効率および施工のしやすさなど工事施工の実行可能性と効率性を評価して、工事実施のための日程計画を作成するものである。詳細工程計画の結果から作業要員、機械、資材等の工事用資源の調達・使用予定が求められ、また、各種管理要素の管理計画立案に利用されることになる。

すでに述べたように、工事は工種別作業を基準として進められている。このために、工程計画データ、すなわち、各单位工程の施工数量、作業処理能力、作業員数、作業所要日数等の作業特性値を工種別作業について直接的に求めることはできるが、総括工程計画における工程データ、すなわち、構造物レベルの単位工程の作業特性値を直接的に算定することは困難であって、工種別作業の作業特性値を用いて間接的に求めるなどの工夫が必要となる。

### 1.3 月(週)間工程計画作成のプロセス

月(週)間という短期工程計画を必要とする段階は工事がすでに進行中の時期であり、月(週)間工程表に示されている作業日程と実際の作業工程とを対比することができ、しかも、全体工程計画という長期的な観点と実施工の工事進捗状況の判断にもとづいて長期的にもまた短期的にも望ましい翌期工程計画を調整できるものでなければならない。

従来は、月(週)間工程計画が全体工程計画と整合を保つ形で、つまり、一方の計画内容の変更・修正が他方の計画内容の変更・修正に直接的に結びつくという方法が確立されていなかったために、両者は個々別々の観点から作成されるのが普通であった。このため、月(週)間工程表の計画値と実績値との間に大幅な差異が生じてそれを全体工程計画に反映させることができず、工事の進行とともに全体工程計画が顧られることがなくなるという状況が一般的であった。

そこで、本研究においては、月(週)間工程計画が基本的には詳細工程計画の内容に従うものであることを考慮して、ネットワーク表示された詳細工程計画から当該月(週)間工程計画を作成する方

法について考察する。

図-2.4 は、そうした月(週)間工程計画作成の概略フローを示したものである。月(週)間工程表は日々のすべての作業の予定を把握できなければならないので、休日を含めての暦日表示であること、詳細工程計画の内容と実際の作業工程とが異なっているときは実施工に合せて工程表の内容を手直しできることなど、具備すべき要件がある。また、全体工程計画との整合を保つ必要があるため、データラインカットオフ法を詳細工程ネットワークに援用する方法<sup>6)</sup>を提案する。

月(週)間工程計画は毎月(週)の施工実績にもとづいて翌月(週)の工程計画を手直ししたり、場合によっては全体工程計画を修正することが必要となるので、工事の施工実績情報の収集とそれからの工程実績データの作成が重要となる。つまり、月(週)間工程計画のシステム化は施工実績情報処理のシステム化と対応して行われることが肝要なことといえる。

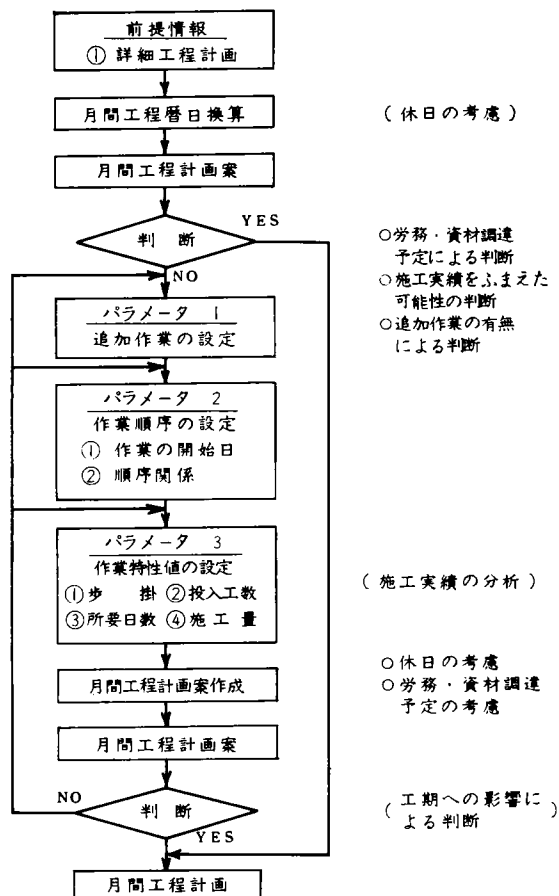


図-2.4 月間工程計画作成のフロー

#### 1.4 工程管理のためのフォローアップ処理のプロセス<sup>7)</sup>

工程ネットワークのフォローアップを行うことの目的は、現時点の工事の進行状況にもとづいて今後の工事の工程上の見通しを検討することによって、工事の完成予定期日に対する評価を行い、もし、予定期日に完成できそうにもない状況が予測される場合には工程上の緊急度の高い順に工事所要日数を短縮する方策を見い出して問題点を解決することにある。

このようなフォローアップの定義から分かるように、工程ネットワークのフォローアップ処理は図-2.5に示すフローに従って、次の事項に注意する必要がある。

- ① 現時点における工程の進行状況の把握,
- ② 実施中および未着手作業からなる工程ネットワークの現時点における更新計算,



③ 工事の完成期日に対する評価と管理目標の達成を困難とする原因の究明,

④ 管理目標達成のための対策案の立案と実施。

工程の進捗状況は、週間、月間、季間において終了又は実施した作業の実績値を集計し、当該期間におけるそれらの作業の計画値と対比するとともに、現在時点までの工事消化数量（又は工事出来高金額）の推移を示す出来高曲線の予定と実績を対比することにより、明らかにすることができる。作業の実績値は日々の作業内容を記録する工事日報を用いて求められ、予定作業と実施作業の対比は各工種ごとに施工順に示すことにより作業の習熟状況や今後の傾向を推測するのに役立つことができる。

現在時点における工程ネットワークの更新計算は、現在実施中の作業の残り日数と実績投入人数、未着手作業の予定所要日数と予定投入人数、および当初予定の作業間順序関係を与えて行うことになる。

更新計算の結果、予定工期を超過することが明らかになると、予定工期内に納まるように対策を講じるが、その方法としては、

- ① 工程ネットワークを構成する作業の特性値の変更,
- ② 工程ネットワークの順序関係の変更,
- ③ 施工計画内容の変更,

が考えられる<sup>8)</sup>。その場合、外部的に与えられる工事内容や現場施工条件の変更をも含めたものでなければなら

ない。また、これらの対策の中で、施工計画の変更あるいは修正は工程上では工程ネットワークの変更あるいは修正に帰することになるので、工程を改善するために取られる措置は、作業計画や施工計画の検討を含めて各作業特性値および工程ネットワークの順序関係の変更を中心として行うことになる。

このように、工程ネットワークのフォローアップを行って工事所要日数が指定工期を超過するときは、単に工程ネットワークスケジュールの更新計算のみにとどまらず、施工計画や作業計画の変更・修正、すなわち工事施工のリプランニングをも行なわなければならない。

一般生産工場の工程管理に PERT 等のネットワーク手法を用いてフォローアップを行う場合、通

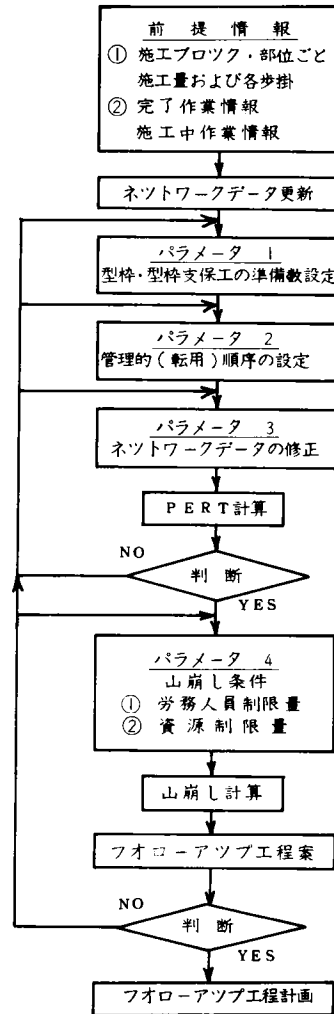


図-2.5 工程管理のためのフォローアップ処理のフロー

常、2週間に1回か毎週1回の間隔で処理すればよいといわれている。しかし、土木工事現場における工程管理の場合は土木工事施工の特性によって一般生産工場の場合とは異った様相を呈していると思われる。すなわち、土木工事の工程計画は1日を単位として作成され、全体工程表、月間工程表、週間工程表として表わしそれぞれの用途に用いられる。週間工程表は単に作業の実施予定を表すもので、予定どおりに作業を行ったかどうかのチェックが中心となる。月間工程表は今月の作業予定と資源の使用予定を表すとともに、それに対応する構造物の構築数量が見積られている。工事の施工実績は完了した作業に投入された工事用資源数量とそれによって出来上った構造物の構築数量を対比して集計される必要がある。予定どおりの工事出来高が得られたかどうかの評価に加えて、実施された作業スケジュールが工程的側面から見て望ましいものであったかどうかの評価も行わなければならない。もし、工程的に見て翌月以降の全体工程に良くない影響を及ぼすことが推測されるときには、全体工程ネットワークのフォローアップを行うことになる。

## 2. 各種工程計画・管理手法の適用性の比較

土木工事の工程計画・管理手法としては、バーチャート（棒線式）工程表、座標式工程表、ネットワーク工程表、などがよく用いられている<sup>9)</sup>。この他にも出来高曲線や工程管理曲線があり、最近ではシミュレーション手法や最適化手法などによる方法も使われるようになってきている。これらの各種手法はそれぞれに特徴があって、工事種類や計画・管理のレベルや精度、表示すべき項目・要素を考慮して適宜使い分けていくべきであると考えられる。しかし、実際には、それら各種手法の土木工事への適用性に関してはいまだに定性的にも定量的にも十分な評価がなされていないために、工事現場の主任技術者自身の経験と技術力に依存する適用方法が取られているというのが実情であろう。

さて、工程計画・管理手法として具備すべき要件を考えてみると<sup>10)</sup>、それは、

- ① 施工過程の表示、
  - ② 工事実施スケジュールの表示、
  - ③ 工程管理指標の表示、
- ということになるであろう。

施工過程の表示とは、建設地点に土木構造物が築造されていく状況と各種工事用資源が運用されていく状況、つまり、土木工事の施工状況を構造的に分析的に捉え、時間の経過を軸として表すことである。このような観点から作成される工程計画代替案に対して、工事期間や各種工事用資源の調達運用条件などの制約を考慮して工事実施のための代替案を選択することになる。

工事実施スケジュールにおいては、工事全体の着工日から始めて各工事・各工種の施工期間、各構造物の構築スケジュール、各作業の日程、各種資機材の調達予定や運用スケジュール、作業要員の手配と運用のスケジュールなど、工事実施に先立って事前に定めておくべき事項のすべてについてその

日程を明らかにする必要がある。

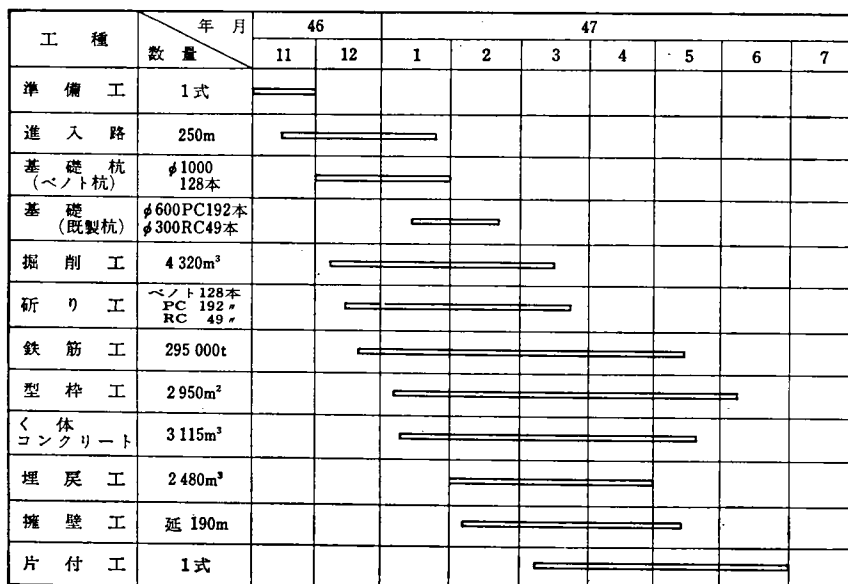
さて、工事実施スケジュールにしたがって工事を進めていくとき、工事の実際の進捗状況と工程計画の実施予定との間に差異が生じてくると、それが工事全体の最終的な結果、たとえば工事完了時期と工事総所要費用にどの程度の影響を及ぼすか、そして、それは当初の施工目標、すなわち、所定の工事期間と工事予算をどの程度に満足させるものであるかを明らかにしなければならない。これを定量化したものが工事の管理指標であり、施工途中の各時点における工事進捗状況の良否を定量的に評価する指標が工程管理指標である。

以下においては、上述の観点に立ち、バーチャート（棒線式）工程表、座標式工程表、ネットワーク工程表、工程管理曲線（出来高曲線）およびシミュレーション手法等の特徴と適用性について概観することとする。

## 2.1 バーチャート工程表

バーチャート（棒線式）工程表は、図－2.6に示すように、工事期間を横軸に各工事・各工種の種類を縦軸として各工事・各工種ごとのスケジュールを表したものである。各工事・各工種のスケジュールは施工数量と標準的な施工能力とから算出した所要日数に対して工事期間中の休祭日・休止日や工事間・工種間の相互関係等を考慮して定め、さらに工事全体が工期内に納まるように試行錯誤的に割り当てたものである。

この方法は工程の表示が単純で所要期間がわかりやすいという特長があるが、工事間・工種間の施

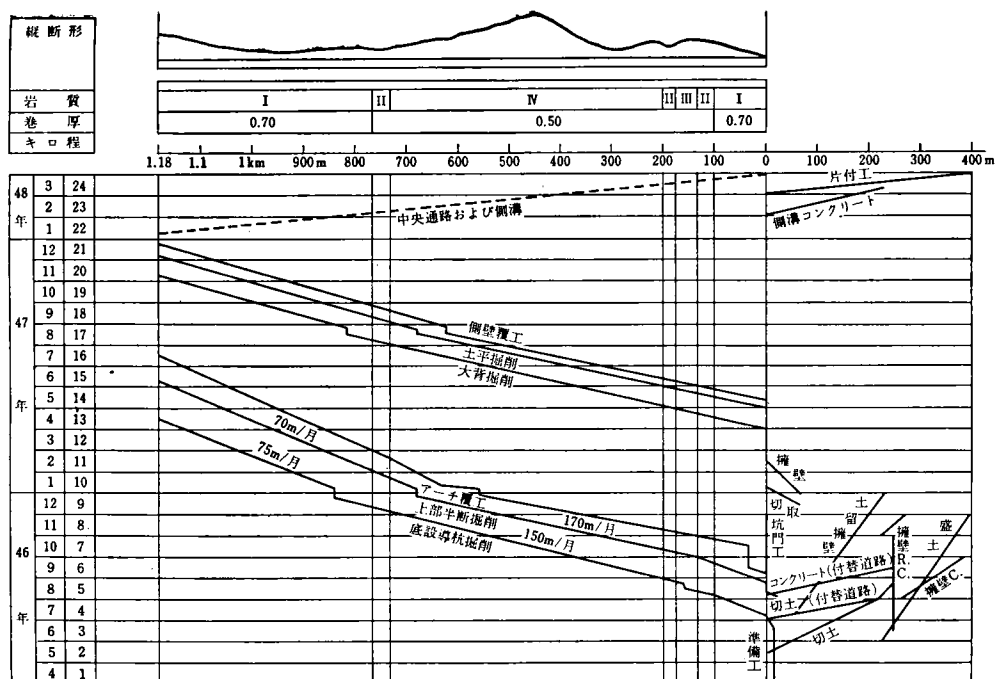


図－2.6 棒線式工程表（高速道路高架橋工事の例）

工順序や所要期間内での施工数量の多寡，作業日程などを把握することが困難である。このために，施工計画や工程計画の検討結果を豊富な施工経験に裏打ちされた概略的なスケジュールとして表しているにすぎない。

## 2.2 座標式工程表

座標式工程表は，図－2.7（a）および（b）に示すように，横軸に工事施工区間，施工ブロックまたは工事延長キロ程を取り縦軸に年月の施工期間を取って，各施工ブロック・各構造物部位・各工種のスケジュールを表すものである<sup>11)</sup>。図－2.7（a）のトンネル工事のように，各構造物部位を施工の単位としてそれらが工事全体もしくは一部分において連続的に行われるような工事においては各構造物部位の施工速度が直線勾配として表わされることとなり，各構造物部位の相互関係や工事全体の施工進度を評価するのに都合がよい。しかしながら，地下鉄工事のように複数工種を交互に繰り返して進行する工事種類においては，工程表の表示が非常に複雑になるので，図－2.7（b）に示すように複数工種からなる本体構造物部分の工事スケジュールと単一工種の工事部分のスケジュールとはその表示方法を区別する必要があるが生じる。また，構造物が線形であって横軸に工事延長キロ程や施工ブロック番号を取ればよい場合には問題はないが，造成工事のように施工対象が面的である場合には横軸の取り方とそれぞれの施工ブロックのスケジュールの表示方法を工夫して工事全体としての施工進度



図－2.7（a） 座標式工程表（トンネル工事の例）

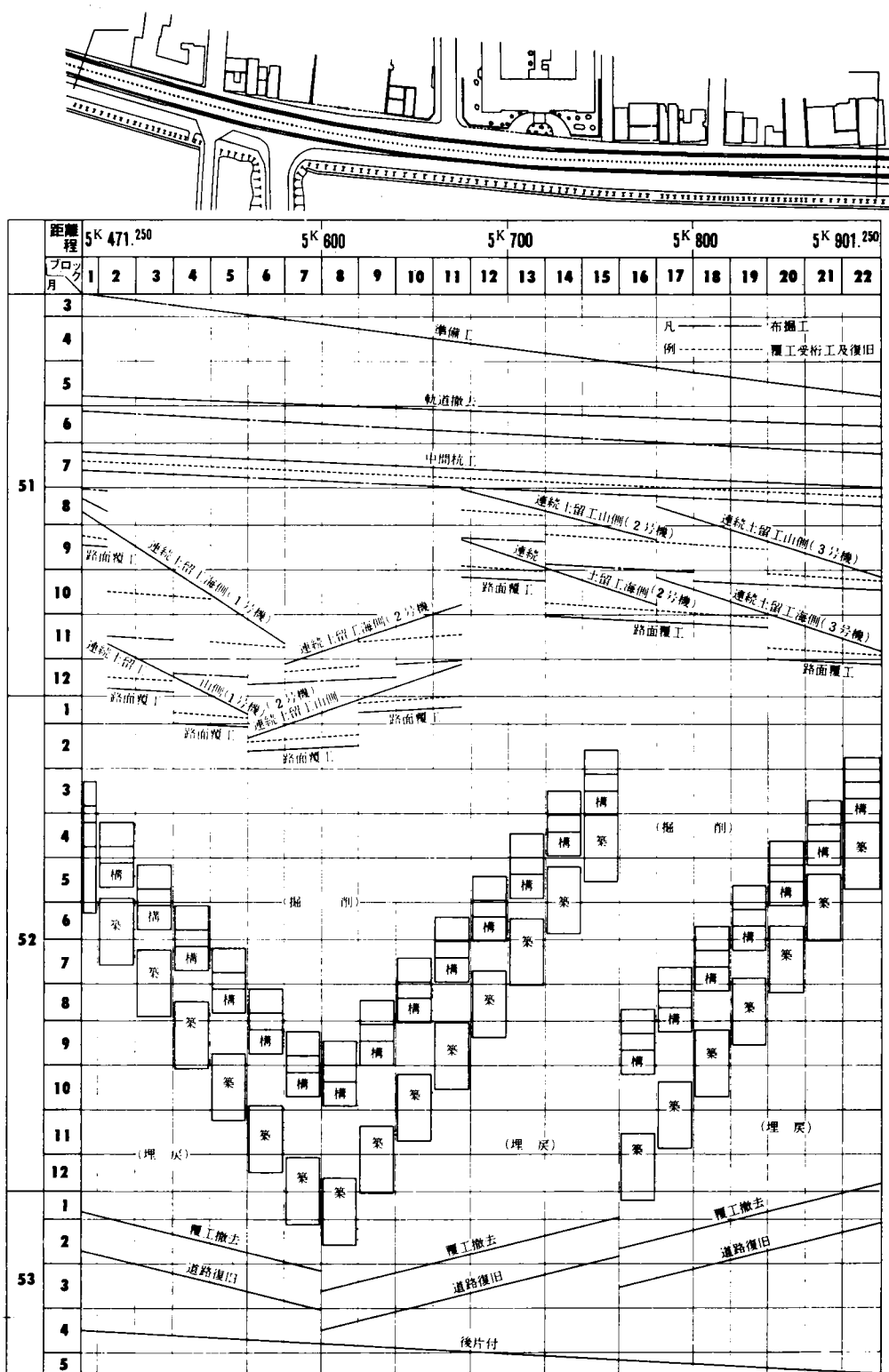


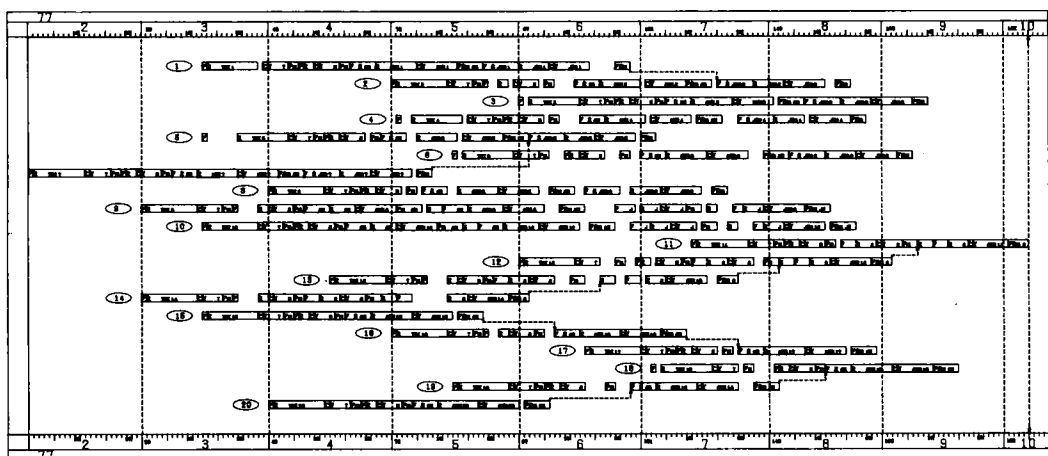
図-2.7 (b) 地下鉄工事における座標式工程表

がよくわかるようにする必要がある。

この方法は各施工区域・各施工ブロック・各構造物部位・各工種の施工速度を表すことが可能な場合に限って工事進捗状況を示す工程管理指標として用いることができるが、そうでない場合には工事の概略のスケジュールを示すものでしかない。しかしながら、バーチャート工程表と比較して工事全体の施工区間や施工区域と工事スケジュールとの対応関係が明白であり、座標式工程表としてはブロックボックス的に処理されている各構造物部位や各工種ごとの詳細なスケジュールを他の工程計画手法を用いて分析的に取扱うことができるならば、工程管理手法あるいは工程管理指標を表示する工程表として利用することができると考えられる。

### 2.3 ネットワーク工程表

ネットワーク工程表は、図－2.8に示すように、工事内容を施工単位に分解し、それぞれの施工単位ごとに所要日数や投入資源数量等の単位工程の諸特性値と単位工程間の順序関係を用いて、工事全体のスケジュールを求めたものである。所要日数を横軸に施工ブロック番号を縦方向に取って表す場合が多い。この方法の特徴は、工程の構成要素である単位工程の諸特性値と単位工程間の順序関係が求められていると、PERT・CPMとして知られているスケジュール計算法<sup>12)</sup>を適用することによって工事全体のスケジュールが求められることである。そのスケジュール計算の結果から余裕日数（フロート）の値によって各工程経路と工事期間との関係が求められる。また、各単位工程の所要資源数量を与えて山積み計算法や山崩し計算法を適用することによって、各種資源の工事期間にわたる使用状況や各種資源の投入可能数量の制限のもとでの工事全体のスケジュールを求めることが可能である。各単位工程の投入資源数量を時間の経過にしたがって累積することによってそれぞれの資源の累積曲線を求めることもできる。さらにまた、工事の進行途中の各時点で実際の工事の進捗状況に合



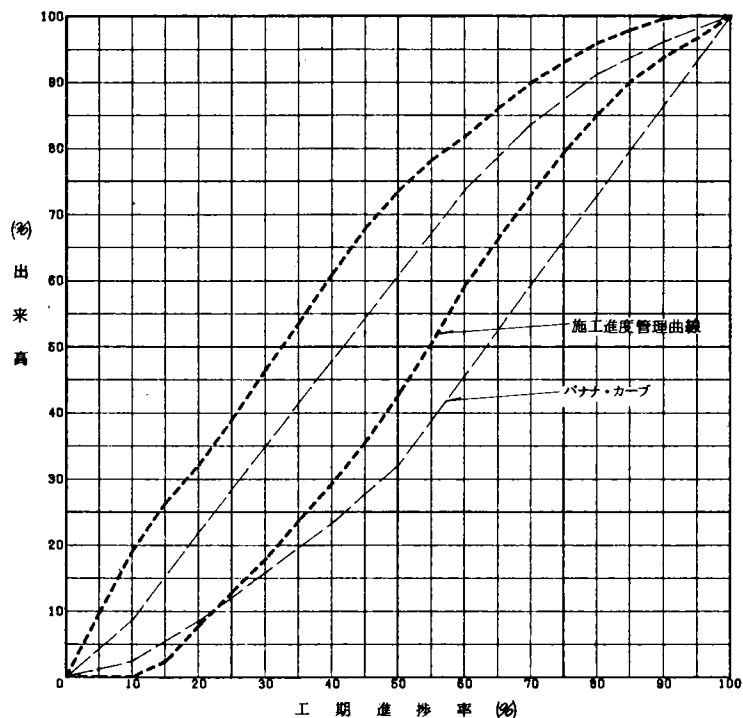
図－2.8 ネットワーク工程表（プレシーデンス型）

せて工程ネットワークのスケジュールを更新すること、つまり、フォローアップ機能を有している。

このようにネットワーク手法は土木工事施工のスケジュール作成に都合のよい種々の特長を持っているが、それらを有効に活用するためには、次の諸点に注意して土木工事施工の構造的な特性を工程ネットワークの中に導入することが必要である。<sup>18)</sup> すなわち、ネットワーク工程表における単位工程と工事の施工単位との対応関係を明確にすること、各単位工程の構成要素の間の関数関係を把握して工事施工における操作可能要因と工程計画・管理の目標値との関係を明らかにすること、さらに、単位工程間の順序関係の中で施工技術上の制約を表すものと工事用資源の運用状態を表すために用いるものとを区別することである。これらを工程ネットワークの中に導入する方法を明らかにすることによって、工事の施工過程を時間的側面、空間的側面、資源運用の側面、費用的側面から分析的に、および総合的に把握すること、つまり、工程計画・管理のトータルシステム化を可能にすることができると考える。

## 2.4 工程管理曲線

工程管理曲線は、図-2.9に示すように、工事施工の内容を金額的な指標に集約しそれをもって工事の進捗状況や消化状況を表そうとする出来高曲線の管理域を示すために用いられる。工程管理曲線のもっとも代表的なものとしては米国公道カルフォルニア管区における「バナナカーブ」があるが、これは当管区において実施された道路工事の出来高曲線を工事進捗率（工事全体の所要期間を100%とする）を横軸に工事の出来高率（各施工時点における工事の出来高金額 / 工事全体の請負金額）を



（施工進捗管理曲線の作成方法としては工程ネットワークのESとLSの各スケジュールから求める方法や後述の第5章に示す統計的方法で求める方法などが考えられる。）

図-2.9 工程管理曲線の例

縦軸にしたグラフにプロットして、それを統計的に処理して求めたものである。一般に、出来高曲線は、工事種類、工事規模、工事運営状態および工事施工のスケジュールを工事出来高の経時的推移として集約的に表しており、それらの諸要素の影響によってその形状がどのように変化するかを明らかにしておくことは、工事施工の進捗状況に対する包括的な管理指標としての利用を可能にすると思われる<sup>14)</sup>。また、工事全体に限らず各工事・各工種に注目するならば、同様の考え方のもとにそれぞれに都合のよい個別の管理指標を用いることもできよう。

## 2.5 シミュレーション手法

シミュレーション手法は、例えば離散型汎用シミュレーション言語を用いて掘削工事の機械系の挙動を表すように<sup>15)</sup>、実際の工事の動態観測にもとづいて、工事施工方法や工事用資源の運用方法を時間的・空間的な側面から実体的にかつ定量的に捉え、それをコンピュータプログラミングの技術を用いて表そうとする1つの技法であるといえる。各種の工程計画・管理手法の中では、工事施工の方法や計画・管理特性を分析的に捉えるうえでもっとも適した手法であるといえる。しかしながら、シミュレーション手法のための一般化された工程表の表示形式やスケジュール計算法として確立されたものはなく、各工事種類や各工事・各作業における個別的適合性の強い手法であるといえよう。このために、ネットワーク手法に比して、工程計画の作成や工程管理への適用に際しての単位工程の設定方法や、工事施工のスケジュール作成のための操作要因（パラメータ）の設定方法を明確にしておくことが必要である。

以上の考察からわかるように、バーチャート工程表、座標式工程表、ネットワーク手法、工程管理曲線、シミュレーション手法の各方法は、工事施工における工事、工程、作業の各マネジメントレベルとの適合性、工程計画・管理における施工過程の把握、実施スケジュールの表示、工程管理指標の設定などに関して、それぞれに特長的な機能のあることがわかる。つまり、工程計画・管理システムが土木施工において有効に機能するためには、これらの各種手法が適用されるべきマネジメントレベルと適用された手法によって満される工程計画・管理機能を明らかにする必要がある。工程計画・管理システムを設計し、実際に構築していくにあたっては、システム全体、とくに、その中心となる全体工程計画システムの構造的な特性を明らかにすることにより、工程計画・管理システムの構築にもっともよく適合する手法を選定することが重要である。

こうした観点から、本研究においては、まず、全体工程計画システムの作成プロセスについて概観し、次いで、工程計画作成の基本的要素である単位工程の設定に直接的に関わっている工事内容の分割基準について考察する。このようにして設定される単位工程は工事施工の作業内容を表す各種の作業特性値で構成されている。それらの作業特性値の間には工事の実際的な施工経験に裏付けられたある関数関係の存在することが知られており、その定性的な特性について考察する。



単位工程の設定と各種作業特性値が工事の施工内容と対応するものとして求められると、単位工程間の順序関係を施工技術上および施工管理上の観点から定めることによって、各単位工程は時間軸および施工空間の中で一意的に定められる。このような施工過程の定形化（パターン化）およびモデル化を行うために、ネットワーク手法を導入する。そして、工程ネットワークモデルによる工程計画代替案の作成の評価に関する基本的な考え方を明らかにする。

## 第 4 節 工事の施工単位と全体工程計画の構成要素との対応

### 1. 工事施工のプロセスにおける施工単位<sup>16)</sup>

さて、すでに述べたように、全体工程計画は、工程計画作成の目的、段階、精度および工事のマネジメントレベルとの対応関係など工事施工における多目的性と多階層性を考慮することにより、総括工程計画、詳細工程計画、月（週）間工程計画という 3 つの工程計画に合理的に分類することができる。これら 3 つの工程計画は工程計画作成にあたっての基本的な構成要素である単位工程の設定基準を通して相互の関連性が明らかにされるが、さらに重要なことは、単位工程の設定基準の如何によって作成される工程計画の内容が規定されてしまうことである。工程計画は工事の施工過程の分析を通してもっとも望ましい実施スケジュールを設定するとともに、工事進捗状況の評価指標を与えるものであるから、工程計画の内容は工事施工の実施状況を実体的に表すものでなければならない。したがって、工程計画の基本的な構成要素である単位工程は、工事施工の基本的な構成要素である施工単位と対応するものとして設定することが合理的であると考えられる。

一般に、実際の土木工事を実施していく過程には、工事の対象となる土木構造物の施工内容をブレイクダウンしていった日々の施工活動の計画・実施に至る工事計画内容の実体化の一連の過程がある。一方、日々の施工活動の実績を積み上げて土木構造物を構築するとともにそれらが工事全体の施工目標を満足するか否かを診断して調整を図っていく工事の実施・管理のための一連の過程もある。理想的にはこれらの両者の内容が互いに対応関係をもって整合していることが望ましいが、実際には施工特性の異なる種々の作業が複雑に組み合わせられて工事が進行していくために、上述のような 2 つの過程を判然と見極めることが困難となっている。しかしながら、実際の工事においては図-2.10 に示すようないくつかの種類の施工単位が存在しており、これらの施工単位を工事内容の分類基準および工程計画作成にあたっての単位工程の設定基準とすることにより、工事計画・管理および工程計画・管理の体系化・実体化に役立てることができる。

すなわち、工事全体はいくつかの構造物部分、例えばコンクリート構造物では一日でコンクリート打設される構造物部分、に分割して施工され、それぞれの構造物部分は職種の異なる作業グループで

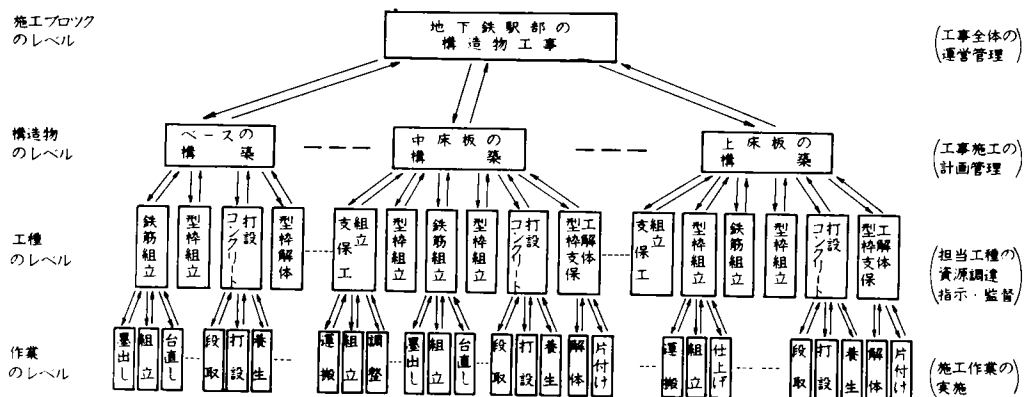


図-2.10 工事施工プロセスのトリー構造分解と施工単位の関係

とに工事内容が分割される。それぞれの作業グループにおいては日ごとの作業内容の指示にしたがって施工活動を行う。

以下においては、これらの施工単位と工程計画との対応関係に注目することにより単位工程の設定基準について考察する。

## 1.1 施工ブロック

施工計画の作成にあたっては、まず、工事の対象となる土木構造物全体を平面的に捉えて、いくつかの区域あるいは区間に分割する。ここではこれを施工ブロックと呼ぶことにするが、施工計画は分割された施工ブロックを1つの施工単位と見なして力学的安全性や工学的合理性など施工技術的側面の詳細な検討を行うのである。このような施工ブロックの設定方法は、工事種類や構造物の規模・形状によって異なるが、一般には構造物の形式、施工方法、施工数量、資材の規格・寸法など経験にもとづいた判断基準による場合が多い。とくに、コンクリート構造物の工事では、構造物の縦方向の施工継目で区分される構造物部分を1施工ブロックとして設定するのが一般的である。そして、施工ブロックに含まれる断面形状のタイプごとに土質条件や施工条件を考慮して立案した施工法の検討を作業手順なども含めて行い、工事全体の運営方針の基本的構想を練るための基礎とするのである。したがって、施工計画や工程計画の作成にあたっては、計画単位としての施工数量や工事用資源数量の規模を決定するものになると同時に、工事全体さらには隣接する区域における工事施工上の諸制約もこの施工ブロックを通して施工計画の中に制約条件として導入することができる。

## 1.2 構造物部位

工事内容が平面的な施工単位の区分のみならず深さ方向においても施工単位が区分されているときは構造物部位という施工単位が現れる。土構造物の場合にはこうした区分はそれほど明瞭ではないが、

コンクリート構造物の場合は1つの横断面をさらにいくつかの水平方向の施工継目を設けて分割して構造物を構築することが多い。したがって、構造物全体を平面的にはいくつかの施工ブロックに分割し、さらに各施工ブロックを水平方向の施工継目によって構造物部位に分割したものは構造物形状を示す最小の施工単位であるといえることができる。ここではこれを施工ユニットと呼ぶことにするが、施工ブロックに分割しても構造物部位の区分のない工事においては施工ブロックと施工ユニットは等しいということにもなる。つまり、施工ユニットという単位は構造物が構築されていく過程を構造物のレベルで捉え、工事全体の施工計画作成の基本構想の立案に関わる計画問題や工事全体の運営や管理目標の達成に関わる課題を処理する場合に用いられる計画・管理単位であるといえる。工事施工の運営管理にとっては工事のマネジメントレベルと対応するものと考えられる。

### 1.3 工 種

施工ブロックと構造物部位で区分される施工ユニットは、それぞれの施工ユニットにおける構造形状や土質条件・施工条件などの施工技術上の制約をうまく処理するように、その施工方法や施工順序を決定しなければならない。コンクリート構造物の場合には、通常、型枠支保工、型枠工、鉄筋工、コンクリート工などの複数工種を必要とし、それぞれの施工ユニットの施工技術上の制約を満足するように一定の施工順序に組立てなければならない。したがって、各施工ユニットは必要とされる工種とその施工順序によっていくつかのグループにパターン分類することができる。

又、各工種の施工方法に注目すると、それぞれの工種ではその工種の施工を専門的に行う特定の技能を有する職種で編成される作業グループを単位として作業が行なわれる。つまり、職種別に編成した作業グループのそれぞれが取扱う資材の種類、機械の種類、作業内容は工種によって特定化されているのである。

このため、複数工種の作業で構築される構造物、とくにコンクリート構造物の工事において、各工種に投入される各種工事用資源の運用方法をみると次のようなことになる。すなわち、本設材料についてはその材料を必要とする工種の作業日程に間に合うように調達し、加工し、組立てればよいことになる。仮設材料については現在拘束されている施工ユニットの構築完了を待って解体し、次に用いられる施工ユニットの場所まで運搬して新しい施工ユニットの構築に取りかかるというサイクルが繰り返される。又、職種別の作業グループは専門とする特定の工種のみを対象として資材を運搬し、作業が終れば他の施工ユニットに移動して同じ工種の作業に取りかかるというサイクルを繰り返す。つまり、工事全体の工程の構造は、工事全体の施工ブロックへの分割と各施工ブロックを構成する施工ユニットの施工順序および各施工ユニットの構築に必要な工種の抽出とそれらの施工順序などをほぼ一意的に規定する施工技術的側面と、各工種に投入される作業員、機械、資材の各種工事用資源の投入数と運用順序を合理的に決定する管理的側面とを組合せたものとして把握することができる。した

がって、これらの2つの側面における工程計画要素を定量的に捉えることによって、工事全体の工程計画は必要にして十分な内容を有するものとして定量化されることができる。このように考えるとき、工種のレベルは工事施工および工事計画の実行可能性を工程的側面から評価する場合の基準となるレベルであり、このレベルにおける単位工程を、ここでは、単位作業と呼ぶことにする。

#### 1.4 作 業

各工種の作業を実施するにあたっては、それぞれの工種の作業に必要とされる資材機械を運搬・仮置きしたり、組立て位置を定めるための測量や墨出しが行われる。また、施工後には簡単な補修や仕上げ、残材の跡片付けが行われる。これらの作業は構造物の構築という観点から見れば、間接的な作業である。このレベルの単位工程を要素作業と呼ぶことにすると、それは構造物の構築を行う本作業である単位作業に対しては補助作業の関係にあるといえる。工程計画の作成にあたっては、これらの補助作業は工程表の表示目的によってはその中に明示されているとは限らないが、構造物を安全にかつ精度よく構築し、工事現場を衛生的に維持していくうえでなくてはならない施工活動であるといえる。こうした工事の施工に必要なすべての作業は週間工程表や月間工程表の中に取り入れられ、その中で作業予定や作業の安全性の確保、構造物材料の品質や施工精度を確保するための手順と管理基準が定められることになる。

以上の考察から、工事の施工過程は、一般に、

- ① 構 造 物、
- ② 工 種、
- ③ 作 業、

という3つの次元によって構成されており、それらは

- ① 施工ブロック、
- ② 構造物部位、
- ③ 工 種、
- ④ 作 業、

という4つの施工単位を当該工事の施工内容にしたがって設定することにより実体的な内容を持つものとして表されることがわかる。また、これらの4つの施工単位は個々別々に設定されるのではなく、工事全体の土木構造物の施工ブロックへの分割、各施工ブロックの構造物部位への分割と施工ユニットの設定、各施工ユニットの構築手順の検討と工種の抽出、各工種の施工手順の検討と作業の抽出、というように、トリー構造を成す工事の分解過程の中で相互に関連づけられている。工事内容をトリー構造として表すことはよく行われることであるが、トリー構造におけるレベルを上記のように施工ブロック、構造物部位、工種、作業という4つの施工単位と対応づけて設定することによって、工事

内容の分割基準の設定を統一的に、したがって体系的に行うことができる。

## 2. 各施工単位と工程レベルとの対応関係<sup>17)</sup>

さて、工事内容の各施工単位への分解過程を工程系列という観点から捉えると、次のようである。すなわち、工事全体の土木構造物を施工ブロックに分解する段階では、工事期間の制約、施工能率、構造物の品質、施工技術的な能力およびこれまでの施工経験などを総合的に考慮して、構造物としての施工単位を定めることになる。この段階では隣接工区との関係や工事制約条件、立地条件など工事全体の基本的な運営方針に関わる施工順序が検討されることになる。次に、各施工ブロックを構造物部位に分解する段階では、構造物の安全性や施工精度の確保という施工技術的な側面と工事の経済性や迅速性という管理的な側面が調和するように、施工単位つまり構造物部位の規模を決定することになる。この段階では、隣接施工ブロックの施工方法や当該施工ブロックの制約的な条件を考慮して、個々の施工ブロックごとに、もしくはパターン分類された施工ブロック群のそれぞれに対して施工技術的観点から各構造物部位の間の施工順序を定めることになる。

各構造物部位の施工段階においては、各構造物部位に必要とされる本設材料を設計図書に示されている形状と寸法に組立てていくための施工順序を検討して仮設計画を作成し、その構造物部位の構築に必要な工種を抽出する。それぞれの構造物部位に含まれる各工種間の施工順序は施工精度や作業の安全性や施工空間の確保など主として施工技術的な観点からはほぼ一意的に定められることになる。一方、それぞれの工種ではその工種に特有の職種の作業員で編成された作業グループが用いられる。同じ職種の作業グループは同じ工種の作業のみを対象とし、その職種の作業グループの運用効率の向上が主要な関心事となる。したがって、工事内容を工種レベルにまでブレイクダウンしてくると、施工技術的側面から定められている各構造物部位の施工順序を与件として各職種の作業グループの運用順序を工事期間の確保と経済性の追求という観点から合理的に定めることが重要な計画課題となる。

このようにして工事全体にわたって各单位作業のスケジュールが求められると、各工種ごとに作成されている作業計画にもとづいて個々の作業の実施に必要な準備作業や後片付け作業なども含めて日々の作業予定を定めることになる。通常、こうした作業レベルでのスケジュールは工事の進捗状況に合わせて計画内容を調整していくために一週間もしくは一ヶ月単位で作成されるのが普通である。

工事の施工過程の構造物、工種、作業の各レベルへの分解、それぞれのレベルにおける施工単位と工程系列との関係についてこれまで考察してきた。これらのことを全体工程計画システムと関連づけてみると、表－2.4に示すように、構造物のレベルは総括工程計画に、工種のレベルは詳細工程計画に、作業のレベルは月（週）間工程計画に概略対応していることがわかるであろう。また、図－2.11は地下鉄駅部工事を例として総括工程、詳細工程、月（週）間工程の各工程レベルにおける工程系列を示したものである。このことから各工程計画レベルにおける単位工程のスケールとその内容がど

のようなものであるかを知ることができよう。

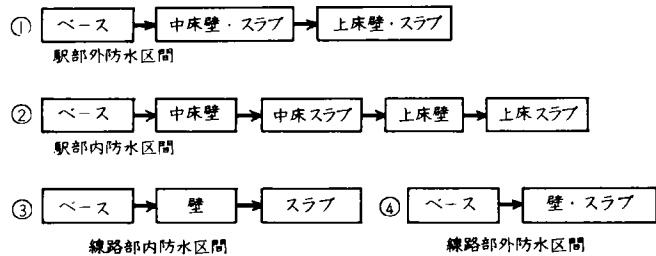
また、この図から、工程系列という側面から捉えた施工過程は総括工程から詳細工程、月(週)間工程へと順次ブレイクダウンしていく過程であるといえるが、各工程レベルにおける単位工程を構成する作業特性値の算定という観点から捉えるならば、その中心とな

るのは工種レベルと対応する詳細工程計画であることがわかる。すなわち、実際の工事では、工種レベルにおける単位工程の作業特性値が工事の施工内容と直接的に対応するものとして求められるのが普通である。総括工程計画における単位工程の作業特性値は工種レベルの作業特性値を各構造物部位ごとに集約して求めることが多く、月(週)間工程計画における単位工程の作業特性値は工種レベルの作業特性値を基

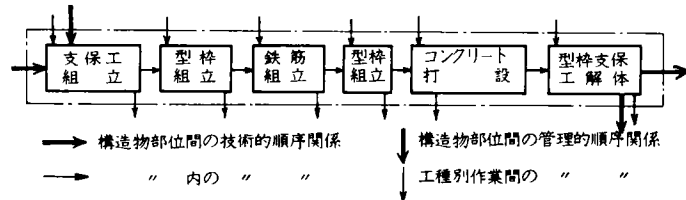
表一 2.4 全体工程計画の構成

計画レベル	計画の目的	内 容	施工プロセスとの対応関係
総括工程	仮設工事を含めた工事全体の施工計画の作成	主要工用資源の運用計画など、工事全体の工程配分	構造物のレベル
詳細工程	工事全体の日程計画の作成	①作業日程計画 ②すべての工用資源の使用計画 ③工程・出来高・資源・原価等の管理との結合	工種のレベル
月間工程(週間)工程	月間あるいは週間の実施予定表の作成	①工用資源の搬入運用の調整 ②施工実績情報の収集・処理 ③作業管理・支払管理との結合	作業のレベル

(a) 構造物のレベルにおける工程系列のパターン



(b) 工種のレベルにおける工程系列(上床スラブの例)



(c) 作業のレベルにおける工程系列(上床スラブの例)



図一 2.11 各工程レベルにおける工程系列の比較

準として必要に応じた値として求めるのが普通である。これらを考慮したうえで、次節では単位工程を構成する各種作業特性値の定性的な特性について考察する。

## 第5節 全体工程計画における構成要素の特徴

### 1. 全体工程計画と構成要素

工事計画の作成は各工種・各作業における作業計画を基礎として進められる。このことは工程計画においても同様であり、作業計画から求められる各種作業特性値の内容とその特性を明らかにすることは合理的な工程計画を作成するうえで基礎的でかつ重要なことといえる。また、各種作業特性値の間に経験的に裏づけられたある関数的関係が存在するが、そうした関数関係から導かれる作業特性値のパラメトリックな特性を考察することによって、工程計画の意図的な操作性、つまり、工程計画の目的性の向上を図ることが可能となり、工程計画のシステム化をより進展させることができる。

作業計画は、各工種の施工方法、構造物細部の作業手順、各種工事用資源の搬入・搬出・在庫計画、作業空間の占用計画、準備工・片付け工などの補助的作業の計画など工事の実施に必要なすべての項目についてその具体的な計画内容を明らかにしたものである。そして、作業計画書は、各工種に必要とされる材料、機械、作業員等の種類、規格（処理能力）と所要数量および各作業の作業手順を構造物型式、施工方法、施工条件ごとにパターン化してとりまとめるとともに、各種工事用資源の調達方法、搬入経路、在庫保管場所、加工場、現場内運搬方法、組立（打設）、解体、修理等の作業方法を示したものである。

一方、工程計画で用いられる各作業の作業特性値<sup>18)</sup>は、作業内容そのものを規定するところの、  
① 作業対象数量、 ② 作業員（または機械）の処理能力、 ③ 作業グループ（または機械系）の構成数、  
および、それらから間接的に算出される、  
④ 作業所要日数、 ⑤ 作業所要費用、 ⑥ 1日当り資源投入数量（ $\div$ 作業対象数量 / 作業所要日数）、  
などで構成されるものである。

これらの作業特性値は、作業計画の内容を先述の施工ブロック、構造物部位、工種、作業という構造物の分割基準にしたがって分類・整理することにより、合理的に工程計画の単位工程データとして用いることができる。

以下においては、工程計画作成にあたっての基本的な構成要素である単位工程（あるいは単位作業）の各種作業特性値の間に認められる定性的な特性について考察する。

#### 1.1 作業対象数量（ $V_s$ ）

作業対象数量は、本設・仮設材料および施工の過程で発生する処理対象土の数量であるが、資源の種類によって数量算定の基準や方法および数量の単位が異なっていることに注意しておく必要がある。

本設材料は、コンクリート材料や鉄筋材料のように構造物本体を形成するものであり、使用すべき材料の種類・規格・寸法は設計図書等で規定されていて作業対象数量としては設計数量を用いることが多い。詳細工程計画の作成にあたっては、構造物本体の設計変更や各施工ユニットの分割基準の変更が行われないかぎり、定数として与えるのが普通である。

仮設材料や処理対象土については、仮設構造物の構造形式や施工方法など仮設計画の内容と対応して使用すべき材料の種類・規格・寸法および数量が求められることになる。仮設構造物の構築に用いられる仮設材料は同じ機能のものでも数多くの種類があって、しかも次々と新しいタイプのものが開発されてきている。こうした実態を踏まえて、計画作成のための仮設材料の必要数量の算定の方法としては、必要とされる仮設材料の種類・規格・数量を直接的に求めるかわりに、仮設構造物を設置する空間の容積や面積などを用いて便宜的に、しかし、計画作成上十分に許容される精度で表す方法を用いる場合が多い。このような方法によると仮設工法の代替案が種々ある場合でも同一の単位で表わすことができ、仮設材料そのものの種類・規格・寸法および数量は仮設工法や仮設構造物の型式が確立した段階で付属材料も含めて詳細に算出し、それを工程計画の結果と合せることによって仮設材料の調達・使用計画を作成することができる。

## 1.2 作業手順および作業方法

工程計画の作成に直接関与する組立、打設、解体などの工種別作業は構築工程を構成する実（本）作業と考えれば、工事用資源の搬入・加工・保管・運搬・仮置きなどの諸作業は前作業であり、残材・機械の後片付け・運搬・修理などの諸作業は後作業と呼ぶことができる。これらは各種工事用資源の運用を中心とした捉え方であるが、構造物部位の構築工程に関しても同様の見方をすることができる。すなわち、後続作業のための測量・墨出し（構造物の位置指定）作業や先行作業の施工結果の検測作業などは複合工種の作業それぞれの円滑な実施と作業内容の品質の確保などのためには必要不可欠な作業ではあるが、構造物の構築という観点からみると補助的な作業であるといえる。

このように、工事施工の工程の捉え方には工事用資源の運用を中心とする工程系列と構造物の構築を中心とする工程系列とがあって、総括工程レベルでは両者がほぼ同じ挙動を示す要素を単位工程としているのに対して、詳細工程レベルでは両者を明示的に区分してそれぞれのスケジュールを求めるものとして位置づけすることができよう。

## 1.3 工事用資源の処理能力（ $Ws$ ）

作業を処理する側の工事用資源、すなわち作業主体である作業員や機械の処理能力については、作業計画の作成時点では過去の施工経験や作業能力の測定実績等にもとづいて標準的な作業状態での値が把握されているにすぎない。実際の工事における作業対象数量の多寡や作業内容の難易、作業空間



の広狭，作業足場の確保の容易さなど作業の処理能力に直接的に影響する施工環境条件や，用いられる作業員の経験・技能・体力，建設機械の型式・規格・能力などの詳細がこの時点ではまだ不明なためである。また，作業の処理のために編成される作業グループや機械系の規模も作業処理能力と無関係とはいえない。

作業員や建設機械は工事の進捗状況に合わせて投入数の増加や削減あるいは交換が比較的容易であり，作業時間の延長等によって見かけ上の処理能力を増大させることができるので，詳細工程計画の作成や工程管理においては計画内容の修正や管理目標の達成のための操作可能な要素として取り扱うことが多い。

#### 1.4 作業グループ（または機械系）の構成数（ $m_s$ ）

各作業に投入される作業員はそれぞれの工種の作業を専門的に処理する職種ごとに適当な規模の作業グループを形成しているのが普通である。作業グループの編成は班長（職長）を中心とする専門職種の機能集団として必要とされる人数を最小限の構成とし，各作業の処理数量，作業空間の広さ，補助的作業の処理内容，および過去の施工経験などに照し合せて実際の工事において標準的な規模と考えられる構成数を設定するのである。このことは，幾種類かの建設機械で構成される機械系についても同様である。

各職種ごとの作業グループの規模はその職種が処理する工種の1日当りの処理数量に直接関係する。そして，その規模によって各作業の所要日数が定まることになるので，作業グループの規模の決定は全体工程の日程計画作成や工事用資源の調達・運用計画作成にあたっての重要なファクターであるといえよう。各職種ごとの作業グループの規模の決定にあたっては，併行して行われている他工種の作業に投入される別の職種の作業グループの処理能力と投入人数を考慮する必要がある。したがって，工事全体としては各工種の作業処理能力のバランスが取れるように計画することが重要である。

以上の諸事項を具体的に規定していくことによって，工程計画の作成に必要な作業内容を明らかにすることができる。工程計画の作成にあたってはこれらの作業特性値から各作業の所要日数を求めなければならない。

## 2. 各構成要素の間の関数関係<sup>19)</sup>

工程計画の基本的な構成要素である作業所要日数とそれを規定する他の作業特性値との間には以下に述べるような関係のあることが知られている。

### 2.1 作業所要日数と他の作業特性値との関係

ある工種の作業 $s$ の所要日数 $d_s$ は，その作業の作業対象数量を $V_s$ ，作業員（または機械）1人

(または1台)当りの処理能力を $Ws$ 、当該工種の作業グループ(または機械系)の構成数を $ms$ とすると、式(2.1)のような簡単な関数関係が成り立つ。

$$ds = Vs / (ms \cdot Ws) \quad (2.1)$$

このような関数関係が成り立つとするのは、過去の施工経験や実証的な分析からこのように平均的な関数関係として表わしても実用上はほとんど問題がないという理由にもとづいている。この式(2.1)を用いて、作業所要日数とその他の作業特性値それぞれとの関係について考察することにより、詳細工程計画の作成に際しての各作業特性値のパラメトリックな特徴を明らかにすることができる。

#### (1) 作業対象数量と作業所要日数の関係

今、工程ネットワークを構成するすべての作業の作業対象数量 $Vs$ が求められていて、ある工種の作業を一定の処理能力 $Wr$ と一定の構成数 $mr$ の職種 $r$ の作業グループが処理していく状況を考えることにする。このとき、作業所要日数が作業対象数量とはほぼ比例関係にある工種については、その工種の中で基準となる作業の作業所要日数 $do$ を式(2.1)から求め、その他の作業については式(2.2)を用いることによって各作業の所要日数を算出することができる。

$$ds = (Vs / Vo) \cdot do \quad (2.2)$$

ただし、添字 $o$ は基準となる作業を表している。

しかし、各工種の作業の中には、作業対象数量の多寡に関係なく一定の日数で処理すべき作業もある。

詳細工程を構成する各工種の作業にこのような特徴のあることを知るならば、全体工程の各作業を作業所要日数が作業対象数量と比例関係にある作業群とそうでない作業群とに分類して、前者の作業群に属する作業については式(2.1)および式(2.2)を用いて各作業の所要日数を求め、後者の作業群に属する作業についてはそれぞれの作業内容に特有の固定した作業所要日数を与えることにより、詳細工程計画のデータ作成作業を簡略化することができる。

#### (2) 作業員の処理能力と作業所要日数の関係

各作業員の処理能力 $Ws$ は、当該工事の標準的な作業状態のもとで標準的な技能を有する作業員が標準的な作業時間で処理しう作業対象数量を表すものである。したがって、作業状態、技能、作業時間などの諸条件が標準と明らかに異なると判断される作業、例えば、作業空間の制約が作業能率に影響する作業、構造物の形状・寸法や施工方法が異っている作業、技能水準の異なる作業グループによって処理される作業等については、標準的な処理能力ではなくて作業の実態に即して別途に算出した値を用いる必要がある。また、平常の勤務時間を超過して作業する場合には1日の見かけ上の処理能力が大きくなるので、工事全体の必要性和実施可能性とから判断して詳細工程計画の工程短縮の操作的要素として用いられることがある。

### (3) 作業グループの構成数と作業所要日数の関係

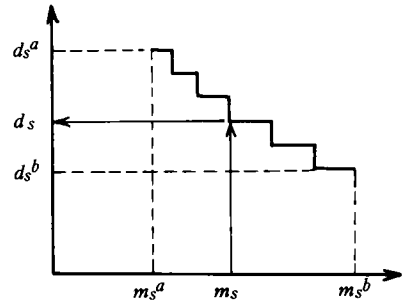
各職種ごとに編成される作業グループの構成数に関しては、作業グループとしての機能を維持するために必要な最小の構成数  $m_s^a$  と、作業空間の位置・広さや機能的作業集団としての規模などの制約から投入可能な最大の構成数  $m_s^b$  というものが存在するであろう。実際に各作業に投入される作業グループの構成数  $m_s$  は、上記の最小構成数  $m_s^a$  と最大構成数  $m_s^b$  との間にあるはずであり、それを式 (2.3) のように表す。

$$m_s^a \leq m_s \leq m_s^b \quad (2.3)$$

作業  $s$  の作業対象数量  $V_s$  と作業員の処理能力  $W_s$  が求められているとき、作業  $s$  に投入される作業グループの構成数  $m_s$  と作業所要日数  $ds$  との間には、式 (2.1) を変換した式 (2.4) から明らかなように、反比例の関係のあることがわかる。

$$ds \cdot m_s = V_s / W_s \quad (\text{一定}) \quad (2.4)$$

この両者の関係式を利用することによって、各作業への作業員投入数  $m_s$  を増減させると、それに合わせて作業所要日数の長さを変えることができる。詳細工程計画の作成にあたっては、作業グループの構成数  $m_s$  は全体工程調整のための操作的要素として運用されることになる。ただし、通常の工事では工事全体としての各職種の調達人数には制限があり、工期への影響の仕方も職種・職種によって異なるので、実際の工事の工程計画作成にあたっては工程ネットワークの形状の特徴をよく理解したうえで、構成数の水準を決定する必要がある。



### 3. 作業所要費用に関する定性的特性

作業所要費用は、土木構造物の構築に要する費用はもちろんのこと、工事用資源の調達・運用に関わる購入、加工、運搬、組立、解体、修理、保管などの諸費用、およびその他のすべての施工活動に伴い発生するものである。作業所要日数の算定とともに工事計画・管理におけるもっとも重要な作業特性値の1つであるといえる。

工事用資源の調達・運用に伴う所要費用は、費用発生状況から分類すると、各種本設材料の購入費用、各種借入資機材の使用損料、および各種工事用資源の運用費用に大別することができる<sup>20)</sup>。

各作業に投入される各種工事用資源の購入・運用に際して発生する費用は、上記の分類と対応して以下のように整理して表すことにする。

いま、作業  $s$  に投入される工事用資材の数量 (= 作業対象数量) を  $V_s$ 、その資材の購入単価を  $P_v^r$ 、その資材の処理のために投入される作業員 (または建設機械) の構成数を  $m_s^r$ 、1 日当り単価を  $P_m^r$ 、作業  $s$  の作業所要日数を  $ds$ 、借入材料の供用日数を  $d_b^r$  とすると、以下のようになる。すなわち、

① 購入材料の調達費用の算定

$$C_s^1 = V_s \cdot P_v^r \quad (2.5)$$

② 借入材料の供用費用の算定

$$C_s^2 = d_b^r \cdot V_s \cdot P_m^r \quad (2.6)$$

ただし、 $d_b^r$  = 供用日数 = 組立日数 + 拘束日数 + 解体日数 + 修理・保管日数  
 = 現場搬出日 - 現場搬入日

$P_m^r$  = 資材  $r$  の使用損料又は供用単価

③ 作業員または機械の使用に伴う費用の算定

$$C_s^3 = ds \cdot \sum_r m_s^r \cdot P_m^r \quad (2.7)$$

各種類の費用を工程上の作業  $s$  と対応させて表すと上記のようであるが、実際にはそれぞれ特有の費用発生状況を呈することに注意しなければならない。すなわち、購入材料の調達日数は材料発注から現場納入までの日数と加工に要する日数とを加えたものであるが、材料の購入費用は現場に納入された日を基準として月ごとに取りまとめて算定する。借入材料については、原則として現場搬入日から現場搬出日までを供用日数として費用が算定される。構造物の構築工程との対応関係で考えるならば、その仮設材料が最初に投入される施工ユニットの組立て作業の開始日から最後に投入される施工ユニットの解体作業の終了日までの所要日数が供用日数となる。作業員や機械の使用に伴う費用は工程に表されている作業に関しては作業と対応させて把握することができるが、材料の加工・運搬・修理・保管や残材の跡片付けなど工程との対応関係の明確でない作業に関してはそれぞれの作業ごとに費用発生状況が把握できるように工夫しなければならない。

一方、土木工事の完成部分に対して支払われる請負金については、請負工事としての契約内容にもとづく代価算定基準（または出来高算定基準）にしたがって算定されるのが普通である。出来高算定基準は、請負工事契約における構造物の完成と構築工程上の各作業との対応関係、および工事発注者から施工者への支払条件を明確に規定しようとするものである。すなわち、工事の施工工程を構成する工種の中で、出来高算定基準において指定されている工種の単位作業数量当りの価格、すなわち施工単価を  $P_r$  とすると、作業  $s$  の作業完了に対応して受取るべき代価  $P_s$  は次式で表される。

$$P_s = V_s \cdot P_r \quad (2.8)$$

工事請負金の受取り方法は通常次のようにして行われる。すなわち、一定期間（例えば 3 ヶ月間）内に完了した構築工程の各作業の中から出来高算定の対象となる作業をすべて抽出して、出来高算定基準を適用して工種別の出来形数量を算出する。そして、式（2.8）により当該期間における出来高金額を集計し、別途定める請負金支払条件にもとづく金額を所定の期日に受取ることになる。

以上の考察から明らかなように、作業実施に直接的に関わる費用に関しては、図－2.12に示すように構造物の構築工程と対比させて把握することが可能であり、構造物の完成に伴って受取るべき請負金も構造物の構築工程との関係において算定されることがわかるであろう。

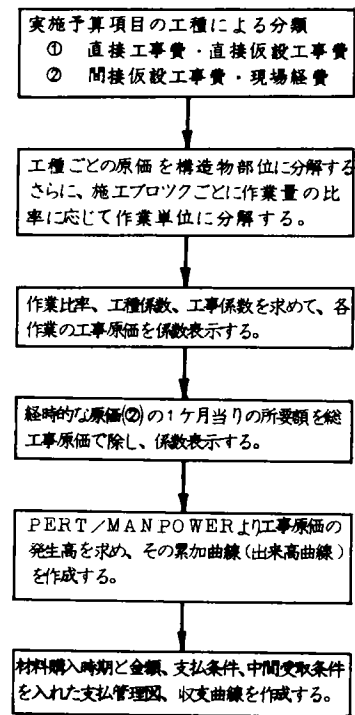
このように、工事計画・管理の重要なファクターである工事施工の原価の側面の計画・管理の合理化に関しても工程的側面の計画・管理の合理化，すなわち工程計画・管理のシステム化が深く関与しているといえよう。

## 第6節 プレシデンス型ネットワークによる合理的な工程計画の作成方法

### 1. 工程ネットワークの表示法の比較

工事現場の技術者が工程計画を作成する場合，通常，次のような方法・手順で行うのが普通である。すなわち，まずはじめに，工事全体をいくつかの施工ブロックに分割し，それをさらにいくつかの構造物部位に分割して施工ユニットを設定する。施工ブロックおよび施工ユニットは構造形式，構造物部位の種類，施工方法等によっていくつかの工程パターンに分類することができるので，それぞれの工程パターンの代表的な施工ユニットを取り出し，その作業構成と各作業の作業特性値を求めることになる。他の施工ユニットについては代表的な施工ユニットと施工数量や施工の難易性を比較してそれぞれの所要日数を算出することになる。一方，型枠材のように，全体工程の支配的要因となる工事用資源については工事期間，工事予算，隣接工区との関係，工事着工条件等を考慮しつつ過去の施工実績資料も参照してその投入セット数と運用順序を決定する。このようにして，図－2.7に示したような座標式工程表を作成し，これによって工事全体の概略のスケジュールを定めるのが従来よく行われてきた方法である。

ところで，地下鉄工事や高速道路工事を見ればわかるように，各種公共事業の進展によって土木構造物の標準化と各種土木施工法の開発・普及が急速に進むとともに現場技術者の施工経験も豊富になって施工実績資料が蓄積されるようになってきた。しかし，また一方では，公共事業の進展は地域社会の拡大と都市機能の集中という現象を招来し，これが土木事業の実施に対して種々の側面から厳し



図－2.12 工事原価の作業単位への分解と原価管理資料の作成フロー

い圧迫を加えるようになった。そして、工事施工段階においては施工技術的問題の解決とともに限られた工事期間の中でいかに支障なく工事を進めていくか、工事期間内で工事を完了させかつ施工の経済性を追求するにはどうすればよいかが現場運営の中心的課題となってきた。このために、従来のバーチャート工程表や座標式工程表のような概略のスケジュールを作成するだけでは十分に工事の施工活動の実態に追従できなくなってきた。

PERT・CPMとして知られているネットワーク手法がわが国に導入され土木工事の分野で利用されるようになったのは昭和40年代の初めである。スケジュール計算法としての基礎理論は大体においてその当時に確立されたといえようが、土木工事現場への導入に関しては見るべきものがほとんどなかった。それは、ネットワーク手法の適用に不可欠なコンピュータの能力と周辺機器の発達が十分でなくコンピュータそのものが今ほどに十分には使いこなされていなかったという時代的な背景の他に、工程ネットワークの表示法にも原因が存在していたと考えられる。

いま、工事内容を施工ブロック、構造物部位、工種、作業というように逐次分解していった、工種または作業のレベルの工程ネットワーク（一般に、プロジェクトグラフと呼ばれる）を作成すると、それはちょうど図-2.

13(c)のように表わされる。これに対して、同じ工程をわが国で一般に用いられているアロー型ネットワークで表すと、それは図-2.

13(a)のようになる。アロー型ネットワークでは、工程上の作業を1対の結合点（ノード）の間に挟まれた矢線で表し、その作業の所要日数を矢線の長さで、作業間の順序関係を矢線の方角で表すようになっている。こうした方法で工程ネットワークを表すには一定のル

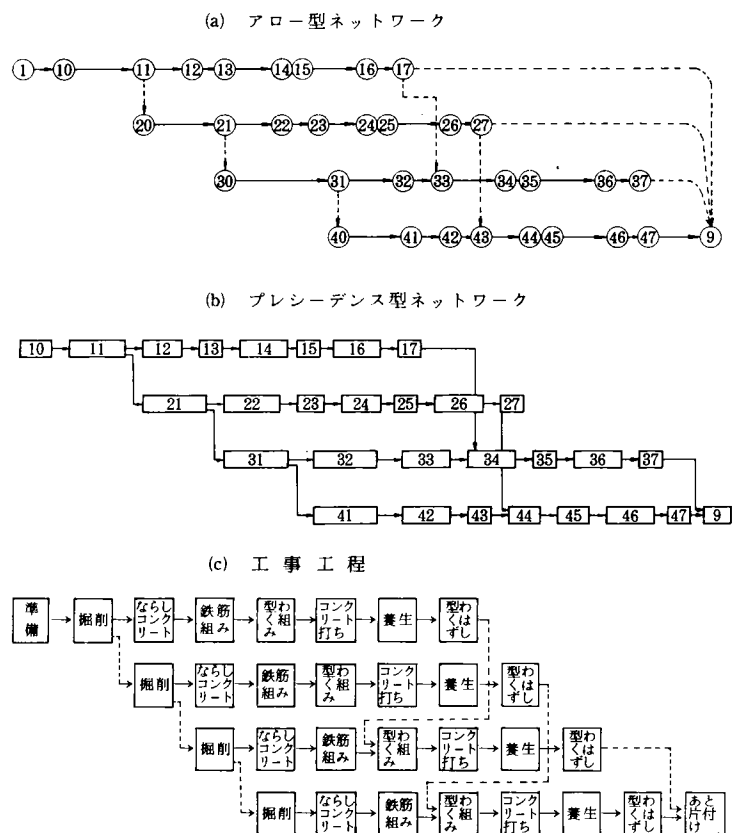


図-2.13 アロー型とプレシデンス型の工程ネットワーク表現の比較

ールにしたがった表示法が必要となる。つまり、この表示法によると、工程上の作業を表すために用いている矢線は実際の工事の施工作业（矢線に長さがあって所要日数が0でない）を表すものと、単に順序関係のみを表すために用いられるもので実際の施工作业と区別するために所要日数0のダミー作業（図中の破線で示す矢印）を表すものがあることになる。また、それぞれの結合点は通常○印で表され、その中に結合点番号が記入されている。このために、アロー型ネットワークの内容を見て、それから工程ネットワークの構造がどのようなになっているか、つまり、各作業の構成状態と作業間の順序関係を理解しようとするのはそれほど容易なこととはいえない。したがって、アロー型ネットワークは工事全体の作業の構成状態とそれらの間の順序関係よりも、各作業の開始時刻と終了時刻を明示し作業間の時間的な相互関係を表すのに都合のよい表示法であるといえよう。

しかしながら、これまでにもしばしば指摘してきたように、土木工事においては工事着工当初に作成した工程計画のとおりにより進捗することはほとんどなく、設計変更や施工計画の変更、工事の手直し、工事進行状況の調整等によって施工途中の各時点で幾度となく工程計画の修正や変更を施すのが普通である。実際の土木工事の工程計画・管理においては、各作業の開始時刻・終了時刻や作業間の時間的な相互関係という個別的な観点よりも、工事全体の所定期日以内での完了という管理目標の達成に対する工程要素（各作業および順序関係）の調整という総合的な観点の方が重要視されることになる。つまり、土木工事の工程計画・管理手法が具備すべき要件としては、

- ① 実際の土木工事における施工工程を実体的に表す。
- ② 土木工事の進行に伴う施工工程の変更や修正に容易に追随することができる。
- ③ 工事の管理目標の達成のために取られる施工上の措置対策を工程計画・管理の中に組み込むことができる。

があげられる。

アロー型ネットワークの場合、これまでに考察してきた理由からだけでなく、実工事への適用事例の評価を通して、上記の具備要件に対する十分な答えを与えていないと思われる。このことは、工程計画や資源運用計画の作成にあたってパラメータを種々変化させて数多くの代替案を比較検討した場合や、工事の施工実績にもとづいて工程計画のフォローアップを行ったり種々の側面からリプランニングを行いたい場合にとくに顕著であり、工事着工当初に作成されたアロー型ネットワーク工程表が一度も更改されないままに放置されている事例も少なくない。こうした事情が生じている主要な原因はアロー型ネットワークで表示された工程表と実際の工事において進められている施工工程との対応関係が一見して容易でなく、そのために工程データの修正や変更が煩わしくなるといふ点にあると考えられる。

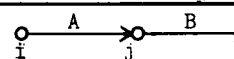
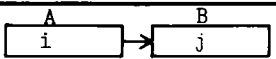
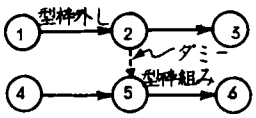
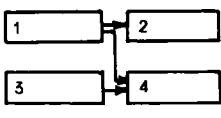
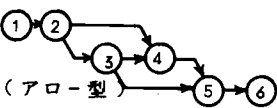
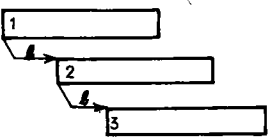
さて、工程ネットワークの表示法としてはもう一つの方法がある。これはプレシデンス型ネットワーク<sup>21), 22)</sup>と呼ばれるもので、図-2.13(b)に示すように工程の内容をスケッチ的に描いたプ

プロジェクトグラフをそのまま工程ネットワークとして表したものであるといえる。すなわち、アロー型ネットワークが工程上の作業を1対のノードで挟まれた矢線によって表したのに対して、プレシードン型ネットワークではネットワーク上のノードによって工程上の作業を表しネットワーク上の矢線は作業間の順序関係のみを表すものとなる。ネットワーク上のノードは○印(サークル)で表すこともできるが、工程上の作業の所要日数に等しい長さを持つ四角枠で表すのが便利である。この四角枠の中にはそのノードが表す作業のコードや作業名称そのものを書くことができるので、スケジュール計算の結果をプロッターで出力させる場合に作業内容を漢字混りかな文字で表記するならば非常に見易い工程表が得られることになる。

プレシードン型ネットワークによる工程表示法がアロー型ネットワークによる工程表示法に比べて優れている点はいくつかあるが、両者を対比させてそれらを取りまとめたものが表-2.5である<sup>28)</sup>。

本研究は、こうした工程の表示法に関連する事項とともに、土木工事における工程計画・管理手法が具備すべき要件に対するプレシードン型ネットワークの特性について考察し、その有効性を明らかにすることとする。表-2.5からもわかるように、工程データを工程上の作業を表すアクティビティデータと作業間の順序関係を表すシーケンスデータとに分けて取り扱うのがプレシードン型ネ

表-2.5 アロー型ネットワークとプレシードン型ネットワークの比較

	アロー型	プレシードン型
ネットワーク表現		
入 力	○順序関係と作業内容を一つに入力する。 i - j : Aの作業内容 j - k : Bの作業内容	○順序関係と作業内容を別々に入力する。 i : Aの作業内容 j : Bの作業内容 i - j (A - Bの順序関係)
PERT計算に必要な情報	i - j, j - k Aの所要日数 $d_{ij}$ Bの所要日数 $d_{jk}$	i - j Aの所要日数 $d_i$ Bの所要日数 $d_j$
PERT計算	$EF_{ij} = ES_{ij} + d_{ij}$ $ES_{jk} = EF_{ij}$ $EF_{jk} = ES_{jk} + d_{jk}$	$EF_i = ES_i + d_i$ $ES_j = EF_i$ $EF_j = ES_j + d_j$
ダミー作業		
作業のラップ状態の表現	 (アロー型)	



ネットワークの特徴であり、工程計画・管理のシステム化に際してもプレシデンス型ネットワークのこの特徴が十分に役立つものとなっている。つまり、全体工程の中で一意性を保って表されるべき工程上の作業に対して、施工ブロック、構造物部位、工種、作業という工事施工に認められる4つのレベルの工程要素の組合せでもって表すことにすると、それぞれのレベルにおける工事施工内容の分類基準が一意的であるならば工事全体においても一意性を保持することができる。そして、そのようにして表された各作業の番号もしくは記号に対応する数値を工程ネットワークのノード番号として用いることもできる。このように全体工程の中に位置づけされた各作業に対して、それぞれの作業の各種作業特性値をパラメトリックに操作することによって、種々の工程計画代替案を検討することができる。次節においては、以上のような方法で工程計画代替案の検討を合理的にかつ簡便に行うための重要な鍵となる工程ネットワークデータのパターン化の方法について考察する。

## 2. 工程ネットワークデータのパターン化

工程計画は、工事全体の施工に必要なすべての作業の空間的な相互関係、時間的な順序関係を明らかにするとともに、それらの作業すべてが指定された工期内に完了するようにそれぞれの作業に投入される各種工事用資源の運用計画を決定することによって、工事の実施計画スケジュールを決定することが主要な目的となる。このような目的に沿う工程計画を作成するためには、工事の施工に必要なすべての作業を抽出してそれら各作業の作業特性値、すなわち、作業対象数量、作業処理能力、作業投入人数および作業所要日数を算出するとともに、それらの作業の間の順序関係と各種工事用資源の運用順序を求めることが必要である。

ネットワーク手法は作業間の順序関係にもとづいて個々の作業の日程を求める日程計算法として有効であるが、そのためには計画作成の目的に沿うように工事施工に必要なすべての作業を抽出することが必要となる。すでに述べたように、工事施工の内容を工事の施工単位に注目して施工ブロック、構造物部位、工種および作業というように順次細分割していくとき、工種あるいは作業のレベルにおける作業数は数百あるいは数千に及ぶことも珍しくはない。これら数多くの作業ひとつひとつに対してすべての作業特性値を算出し、さらにそれらの作業の間の順序関係と各種工事用資源の運用順序を求めなければならないとなると、ネットワーク手法を用いた工程計画の作成には膨大な作業量を要することになる。従来、土木工事における工程計画・管理手法としての有効性がいわれてきたにもかかわらず、必ずしも十分には有効に用いられて来なかったのは、アロー型ネットワークと実際の施工工程との対応関係の不分明さとともに、非常に多忙な工事計画作成段階に膨大な量の工程計画データを作成しなければならないというネットワークデータの作成に関する煩わしさが大きく関係していたと考えられる。

そこで、本研究においては、実際の工事の施工工程とネットワーク表示された工程計画との対応関

係を明白なものとするためにプレシーデンス型ネットワークを用いることにするのであるが、さらに、工程ネットワーク上のアクティビティを実際の工事の施工内容との対応関係が明確に識別できるように、ネットワーク構成要素のパターン化を図ることにする。ネットワーク構成要素はネットワーク上のアクティビティ（作業）とシーケンス（順序関係）に分けられるが、それぞれのパターン化を通してネットワークのデータ作成法の簡略化を図り、ネットワーク手法が土木工事の工程計画・管理手法として定着させるための方法を明らかにする。

## 2.1 単位工程の表示方法のパターン化<sup>24)</sup>

土木工事の施工内容は、対象となる構造物の施工単位と対応して、一般に施工ブロック、構造物部位、工種、作業という4つの段階に分けることができる。工事計画の内容は施工ブロックから作業へ工事の内容が逐次ブレイクダウンされていくにしたがって具体化されていき、作業レベルの計画、すなわち、作業計画がすべての作業について作成されることによって工事計画が確立されることになる。このような手順で求められる工事計画の内容は工程計画・管理のパターン化という観点からは以下のように整理することができる。

すなわち、まず、工事の対象となる土木構造物を施工ブロックに分割すると、それらの施工ブロックは構造型式・断面形状と施工方法などによっていくつかの施工パターンにグルーピングすることができる。つまり、同じ構造型式の構造物を同一の施工方法で構築していく場合には、それらの施工ブロックは同じ施工パターンに属すると考えられる。そして、それらの施工ブロックの構造物部位への分割基準および各構造物部位を構成する工種・作業の内容やそれらの施工順序などは同じであると考えることができる。実際の工事においても、こうした考え方にもとづいて概略的な工程計画を作成することはよく行われており、工程計画の作成にあたって工程ネットワークの中に施工パターンの概念を導入することは実際上も何ら問題は生じない。

本研究においては、工事内容が施工ブロック、構造物部位、工種、作業の各レベルに合理的に分解していくことと上述の工事施工のパターン化の概念を導入することにより、工程計画作成法の簡略化について考察することとする。

すでに述べたように、工事の施工内容は、構造物の施工ブロックおよび構造物部位への分割、各構造物部位の施工に必要とされる工種および作業の抽出というように、これらの4つのレベルからなるトリートメントとして合理的に表現することができる。このことは、それぞれのレベルにおける工事内容項目をそれぞれのレベルの中では一意性が保持されるように分類し、コード化しておくならば、それぞれのレベルから1つずつのコードを取出して作成される新たな1つのコードは、工事全体の中で一意性が保証されることになる。このことを利用すると、作業のレベルにまで分解して得られたある作業  $s$  は、次のように、工事全体の中での一意性が保証され、しかも、工事の施工内容との対応関係が

明白なコードとして表すことができる。

$$s = (i, j, k, l) \quad (2.9)$$

ただし、 $i$ ：施工ブロックコード、 $j$ ：構造物部位コード、 $k$ ：工種コード、 $l$ ：作業コードであり、それぞれは各レベルの中で一意的に表されているものとする。

もし、 $i, j, k, l$ をそれぞれ2桁の数字を用いて表すことにすれば、作業 $s$ は次式のような8桁の数字を用いることによって、工事施工の多階層構造特性を明示的に反映した工事全体の中で一意性のある数値として表すことができる。

$$s = 10^6 i + 10^4 j + 10^2 k + l \quad (2.10)$$

このように工事全体の作業を数字コードで表すことによって、工程ネットワークの表現方法や作成方法を合理化することができる。すなわち、施工ブロックと構造物部位によって設定される施工単位、つまり施工ユニットを単位工程として用いる工程ネットワークのアクティビティ番号 $s'$ は施工ブロックコード $i$ と構造物部位コード $j$ の組合せによって4桁の数字で表すことができる。

$$s' = 10^2 i + j \quad (2.10)'$$

また、工種レベルの単位作業を単位工程として用いる工程ネットワークのアクティビティ番号 $s''$ は施工ブロックコード $i$ 、構造物部位コード $j$ および工種コード $k$ の組合せによって6桁の数字で表すことができる。

$$s'' = 10^4 i + 10^2 j + k \quad (2.10)''$$

つまり、施工ユニットを単位工程として総括的な工程計画を作成する場合には、そのときの工程ネットワークのアクティビティ番号は4桁で表示されており、単位作業もしくは補助的な作業をも含めて詳細工程計画を作成する場合には、そのときの工程ネットワークのアクティビティ番号は6桁もしくは8桁で表示されることがわかる。また、詳細工程計画の作成に用いる工程ネットワークの工種レベルの番号に注目して、同じ番号の作業を抽出することにより、各工種ごとの詳細工程計画レベルの作業スケジュールや各工種に投入される各種資源の運用スケジュールを明らかにすることができる。

このように工事施工の多階層構造を反映した方法で工事全体の作業番号を表すことにより、作業データの作成を工事の施工パターンを考慮した方法を用いて以下のように簡便化することができる。

いま、同じ施工パターン $p$  ( $1 \sim P$ )に属する2桁の施工ブロック番号の集合を

$$(I_1^p, I_2^p, \dots, I_m^p, \dots, I_{Mp}^p)$$

施工パターン $p$ における2桁の構造物部位番号の集合を

$$(J_1^p, J_2^p, \dots, J_n^p, \dots, J_{Np}^p)$$

とし、施工パターン $p$ 、構造物部位 $J_n^p$ における作業番号（工種レベル2桁、作業レベル2桁、合計4桁で表すことにする）の集合を、

$$({}^nK_1^p, {}^nK_2^p, \dots, {}^nK_q^p, \dots, {}^nK_{Qp}^p)$$

とすると、施工ブロック $I_m^p$ における作業番号 $s_p(m, n, q)$ は次式で与えることができる

$$s_p(m, n, q) = 10^6 I_m^p + 10^4 J_n^p + {}^nK_q^p \quad (2.11)$$

施工パターン $p$ においては構造物部位番号 $J_n^p$ を指定するとその構造物部位の作業構成、すなわち作業番号の集合 $({}^nK_1^p, {}^nK_2^p, \dots, {}^nK_q^p, \dots, {}^nK_{Qp}^p)$ は1対1に対応して直ちに定めることができる。したがって、施工パターン $p$ の代表的（標準的）な施工ブロック $I_m^p$ に対してはそのブロックにおける各構造物部位 $J_n^p$ （ただし、 $n: 1 \sim Np$ ）ごとにその部分の施工に必要とされるすべての作業 ${}^nK_q^p$ （ただし、 $q: 1 \sim Qp$ ）を求め、その他の施工ブロックについては施工ブロック番号のみを与えることにより、施工パターン $p$ におけるすべての作業の番号を上式を用いて求めることができる。このような操作をパターン1からパターン $P$ までのすべての施工パターンについて行うことにより、工事全体の作業番号を工事の施工内容や工事施工の階層構造特性との関係のもとで簡便に作成することができるのである。

ここで、上記の説明において用いた施工ブロック $I_m^p$ 、構造物部位 $J_n^p$ および作業 ${}^nK_q^p$ と工事の施工内容を施工ブロック（ $I$ ）、構造物部位（ $J$ ）および工種別作業（ $K$ ）との間には、

$$\left. \begin{aligned} I &= \{ I_1^1, I_2^1, \dots, I_{M1}^1, \dots, I_m^p, \dots, I_{Mp}^p \} \\ J &= \{ J_1^1, J_2^1, \dots, J_{N1}^1, \dots, J_n^p, \dots, J_{Np}^p \} \\ K &= \{ {}^1K_1^1, {}^1K_2^1, \dots, {}^1K_{Q1}^1, \dots, {}^nK_q^p, \dots, {}^{Np}K_{Qp}^p \} \end{aligned} \right\} \quad (2.12)$$

という関係が成り立つ。これを分類整理して工事内容のコード表が作成される。

## 2.2 単位工程の所要日数算定法のパターン化<sup>25)</sup>

ここでは、工程計画の主要な構成要素である単位工程について、その基本的な特性値である作業所要日数 $ds$ の算出法を中心として考察する。その場合、単位工程のモデル化を総括工程計画および詳細工程計画のそれぞれのレベルについて行うのであるが、工程計画作成におけるもっとも実体的な計画要素である詳細工程計画レベルの単位工程モデルについて考察することにより、総括工程計画レベルの単位工程モデルは詳細工程計画レベルの単位工程から導かれるものであることを明らかにする。また、週（月）間工程計画は計画問題としてよりも実施・管理問題としての比重が大きく、詳細工程

計画レベルの単位工程モデルをそのまま用いるか、あるいは単位作業を本作業と補助的作業に分解することにより詳細工程計画レベルにおける考え方がそのまま適用できると考えられるので、ここでは触れないことにする。

#### (1) 詳細工程計画における単位工程のモデル化

これまでも述べてきたように、工事内容を施工ブロック、構造物部位、工種、作業の4つのレベルに分解して、さらに各レベルでの分類が一意的であるように、記号  $i, j, k, l$  を用いて表すものとする。このとき、詳細工程計画の単位作業  $s$  は施工ブロック  $i$ 、構造物部位  $j$  および工種  $k$  を組合せて全体工事の中で一意性のある作業番号として表され、その作業の所要日数の算定式は式(2.13)のように表すことができる。

$$d_{ij}^k = V_{ij}^k / (m_{ij}^k \cdot W_{ij}^k) \quad (2.13)$$

式(2.13)を用いて各単位作業の所要日数を算出する場合でも、もちろん式(2.2)～(2.4)の関係は成立する。

#### (2) 総括工程における単位工程のモデル化

総括工程計画は施工計画や工程計画の枠組みを規定する重要な役割を持っているが、現在のように工程関連の施工実績資料が十分には蓄積・整理されていない段階においては、このレベルの単位工程のすべてについてその所要日数やその他の特性値を工程関連資料から直接的に算出することは困難であろう。とくに、ネットワークモデルを導入するのに適している工事は複数の工種から成っている場合が多く、それらを集約して1つの単位工程として取扱う場合にはそのことが著しいといえる。

本研究においては、前述の式(2.13)による詳細工程計画レベルの単位作業の所要日数  $d_{ij}^k$  から、総括工程計画レベルの施工ユニットの所要日数  $d_{ij}$  を算出する方法について考察する。

通常、総括工程計画は工事に着手して間もない時期に作成される。この段階においては、施工計画作成の基準となる各施工ブロックの構造物部位と作業の構成、およびそれぞれの施工パターンごとの標準的な工程とその特性値については計画作成資料を得ることはできようが、工事施工におけるすべての作業についてそれらの作業特性値を求めることは困難である。

そこで、工事の対象となる構造物の標準断面を含む施工ユニットに関しては、その部分の施工に必要なすべての作業を抽出してそれぞれの作業に対しては必要な工程実績資料を収集し、式(2.13)を用いて各作業の所要日数  $d_{ij}^k$  を算出する。そして、標準断面を含む施工ユニットの所要日数  $d_{ij}$  を次式を用いて求める。

$$d_{ij} = \sum_k d_{ij}^k \quad (2.14)$$

標準断面を含まない施工ユニットに関しては、構造物の設計図書からそれぞれの施工ユニットの施工数量  $V_{ij}$  を算出し、標準断面を含む施工ユニットの施工数量  $V_{0j}$  に対する比率から、次式によ

て概算的に求めることにするのである。

$$d_{ij} = (V_{ij} / V_{oj}) \cdot d_{oj} \quad (2.15)$$

ただし、 $d_{oj}$ ：標準断面を含む施工ブロックの構造物部位  $j$  の施工ユニットの所要日数で、式(2.13)および式(2.14)を用いて求める。

コンクリート構造物の工事では、施工数量  $V_{ij}$  として各施工ユニットのコンクリート打設量を用いるのがよい。しかし、このような工事における施工ユニットは、所要日数が施工数量に比例するような単位作業群と所要日数が施工数量に関わりなくほぼ一定である単位作業群とで構成されているのが普通である。こうした特徴を考慮すると、式(2.15)は次式のように表現する方がより実的であるといえる。

$$d_{ij} = (V_{ij} / V_{oj}) \cdot d'_{oj} + \delta_{oj} \quad (2.16)$$

ただし、 $d'_{oj}$ ：標準断面を含む施工ユニットの、作業日数が施工数量に比例する単位作業群の所要日数の和、 $\delta_{oj}$ ：標準断面を含む施工ユニットの、作業日数が一定の単位作業群の所要日数の和。

つまり、式(2.16)は各施工ユニットをいくつかの施工パターンに分類し、それぞれの施工パターンに対して集合作業の概念を導入して、総括工程計画レベルにおける単位工程の所要日数の算定法を定式化したものに他ならない。

### 2.3 作業間の順序関係のパターン化

工程ネットワークを用いて工程計画を作成するとき、上述の工事施工の多階層構造特性を考慮した方法により、簡便にすべての作業の抽出と一意的な番号づけを行うことができる。工程ネットワークはこのようにして作成した各作業に先行および後続する作業を調べて、すべての順序関係を求めることによって作成することができる。

土木工事の工程計画の内容を規定する作業間の順序関係の特性に注目すると、そこには2種類の順序関係が存在することがわかる。すなわち、

- ① 構造物の種類・型式や施工方法など施工技術的側面からは一意的に定められる順序関係（これを、ここでは技術的な順序関係と呼ぶことにする）、
  - と、
  - ② 工期の制約のもとで当該工事を効率的に運営していくために、各種工事用資源の運用方法を管理的側面から決定すべき順序関係（これを、ここでは管理的な順序関係と呼ぶことにする）、
- が存在している。

実際の工事では、各種構造物における施工単位とそれらの施工順序については、構造物の種類・構造形式、工事現場の自然条件および適用すべき施工方法など当該工事の施工技術的側面からの検討結

果にもとづいて具体化されることになる。そうした処理の中で、技術的な順序関係は施工ブロック、構造物部位、工種、作業という工事内容の階層構造的な分解過程と対応して定められる各種・各レベルの施工単位の間の施工順序関係として表される。具体的には各施工ブロックにおける構造物部位間の施工順序および各構造物部位における工種別作業間の順序関係として求められることになる。

さて、施工技術的側面からの工事内容の検討結果にもとづいて工事全体の作業とそれらの作業の間の技術的な順序関係が求められると、次には工期と各種工事用資源の調達条件の制約のもとに工事用資源の運用方法を表す管理的な順序関係を決定して、迅速性と経済性の両側面から捉えてもっとも望ましい工程計画を作成しなければならない。

以上の説明からもわかるように、土木工事の工程計画作成における2種類の順序関係の中で、技術的な順序関係は工事施工の多階層な分解過程と対応して施工技術的側面からは一意的に定めることのできる順序関係であるのに対して、管理的な順序関係は工事に投入する各種工事用資源の運用方法と対応して管理効率の最大化という観点から決定すべき順序関係である。工程計画の作成に際しては、前者の順序関係は与件として用いられる定数的要素であり、後者の順序関係は各作業の作業特性値と技術的な順序関係を与条件として工程計画内容の最適化を図るものとして求めるべき変数的要素であるといえる。工期と各種工事用資源の調達条件の制約のもとでも各工事用資源の運用方法には種々の代替案が考えられるので、管理的な順序関係は少なくとも工事用資源の運用方法の代替案の数だけは存在することになる。

工程計画作成法の合理化という課題を作業間の順序関係の設定という観点から捉えるならば、それは

- ① 技術的な順序関係の簡便な設定方法の確立、
  - ② 各種工事用資源の運用特性を考慮した管理的な順序関係の合理的な設定方法の確立、
- ということになる。後者については次章において取扱うこととして、ここでは前者について工事全体の工種別作業のパターン化と対応する方法について述べることにする。

工事の施工工程の構造から考えて、同じ施工パターンに属する施工ブロックにおいては構造物部位への分割基準と各構造物部位の施工順序およびそれぞれの構造物部位における工種・作業の構成とそれらの作業順序は全く同じ内容であると見なすことができる。このことを作業間の順序関係のパターン化という観点から捉えると以下のようなものである。すなわち、ある施工ブロックにおける作業間の順序関係はその施工ブロックの構造型式と施工方法によって一意的に定められる技術的な順序関係で構成され、それはその施工ブロックに含まれる工種別作業の順列として求めることができる。そして、同じ施工パターンに属する施工ブロックにおいては、工種別作業の順列は全く同じであると見なすことができることになる。

いま、施工パターン $p$  ( $p: 1 \sim P$ ) に属する施工ブロック $I_m^p$ の施工に必要とされる作業の結合

状態 $S_p(W)$ はその施工ブロックに含まれる作業の技術的な順序関係 $S_p^T(W)$ によって規定される。  
 技術的な順序関係 $S_p^T(W)$ はその施工ブロックに含まれる工種別作業 $W_p(k)$ を要素とする順列として次式のように表すことができる。

$$\begin{aligned} S_p(W) &= S_p^T(W) \\ &= (W_p(1) W_p(2) \cdots W_p(k) \cdots W_p(K)) \end{aligned} \quad (2.17)$$

ただし、 $W_p(k)$ は施工パターン $p$ に属する施工ブロックにおいて第 $k$ 番目に実施する作業を表す。

ここで、各施工ブロックにおける階層特性、すなわち、構造物部位、工種別作業（ここでは説明をわかりやすくするために工種と作業に分けないことにする）の2つのレベルに注目して、上式を書き改めると次のようになる。すなわち、施工パターン $p$ に属する施工ブロック $I_m^p$ において第 $n$ 番目に施工する構造物部位のコードを $J_n^p$ 、その構造物部位において第 $q$ 番目に実施する工種別作業のコードを ${}^nK_q^p$ とすると、その施工ブロックにおける施工順序は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} S_p(J) &= S_p^T(J) \\ &= (J_1^p J_2^p \cdots J_n^p \cdots J_{Np}^p) \end{aligned} \quad (2.18)$$

また、構造物部位 $J_n^p$ における工種別作業の技術的な順序関係は同様に次式のように表される。

$$\begin{aligned} S_{pn}(K) &= S_{pn}^T(K) \\ &= ({}^nK_1^p {}^nK_2^p \cdots {}^nK_q^p \cdots {}^nK_{Qp}^p) \end{aligned} \quad (2.19)$$

上式における ${}^nK_q^p$ の代わりに式(2.11)から求められる $s_p(m, n, o)$ を用いて得られる順列

$$\begin{aligned} S_{pn}(K) &= S_{pn}^T(K) \\ &= (s_p(m, n, 1) s_p(m, n, 2) \cdots s_p(m, n, o) \\ &\quad \cdots s_p(m, n, Op)) \end{aligned} \quad (2.19)'$$

を求め、それを式(2.18)に示す順序にしたがって並べることによって、施工ブロック $I_m^p$ における各作業の技術的な順序関係をすべて列挙することができる。

施工パターン $p$ に属する他の施工ブロック $I_{m'}^p$ については $I_m^p$ の代りに $I_{m'}^p$ を置きかえるだけでよい。

こうした操作をすべての施工パターンについて行えば工事全体のすべての技術的な順序関係が求められることになる。

一方、管理的な順序関係は施工パターンよりも工事用資源の運用計画との関係の方が関わり方が強



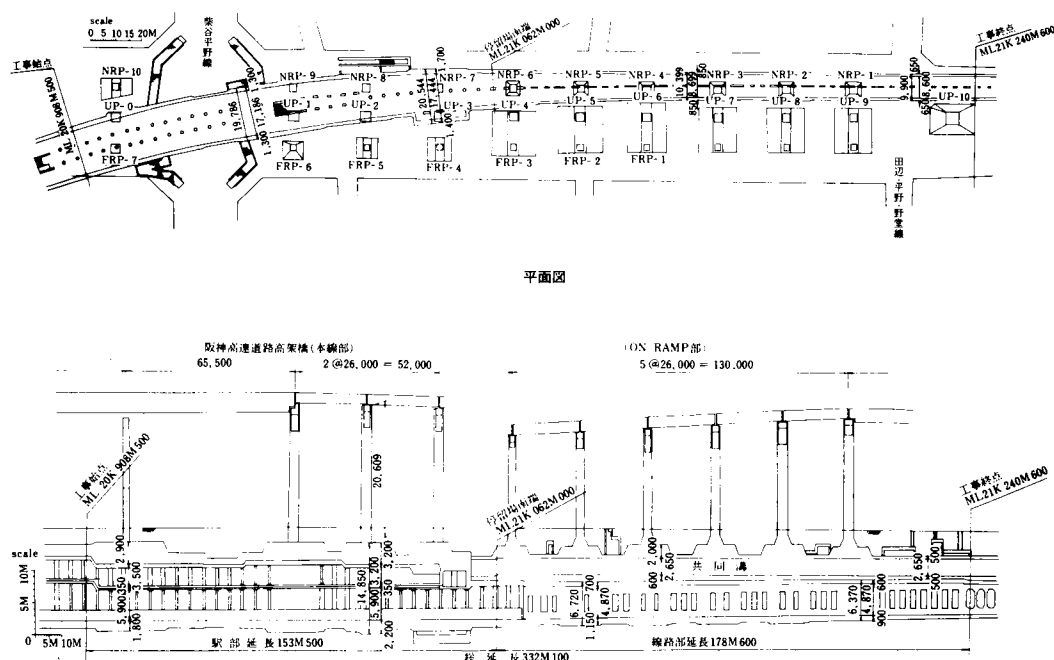
くて上述のような施工パターンを利用した簡便化の方法を用いることはできない。したがって、工  
用資源の運用スケジュールを求める次章に示す方法を用いるか、もしくは何らかの方法で求めた管理  
的な順序関係を個別に与えていくような方法によることになろう。

## 第7節 地下鉄工事における適用事例<sup>26)</sup>

### 1. 適用対象工事の概要

本研究において考察した工程計画・管理システムの適用対象としたモデル工事は、大阪市南部に位  
置する地下鉄開削工事である。当工事は、図－2.14に示すように、駅部構造物と線路部構造物と  
から成っており、地下鉄構造物上に高速道路高架橋のピア基礎が一体化して建設されることになる。当  
工事の工事計画・管理上の課題としては、

- ① 高速道路高架橋のピア基礎を上載するために上床スラブが $2.9\text{ m} \sim 3.2\text{ m}$ の厚さとなっていて、  
この部分のマスコンクリートのクラック発生防止対策と型枠支保工の転用計画問題、
- ② 高速道路下部工事および共同溝工事が当地下鉄工事とほぼ同時期もしくは後続して施工されるの  
で、主要工事である掘削工事と地下鉄構造物の構築工事の施工期間をどのように確保するかという



図－2.14 適用対象工事の概要

工程計画問題、

③ ピア基礎が近接する区間における防水工事の施工順序の決定、

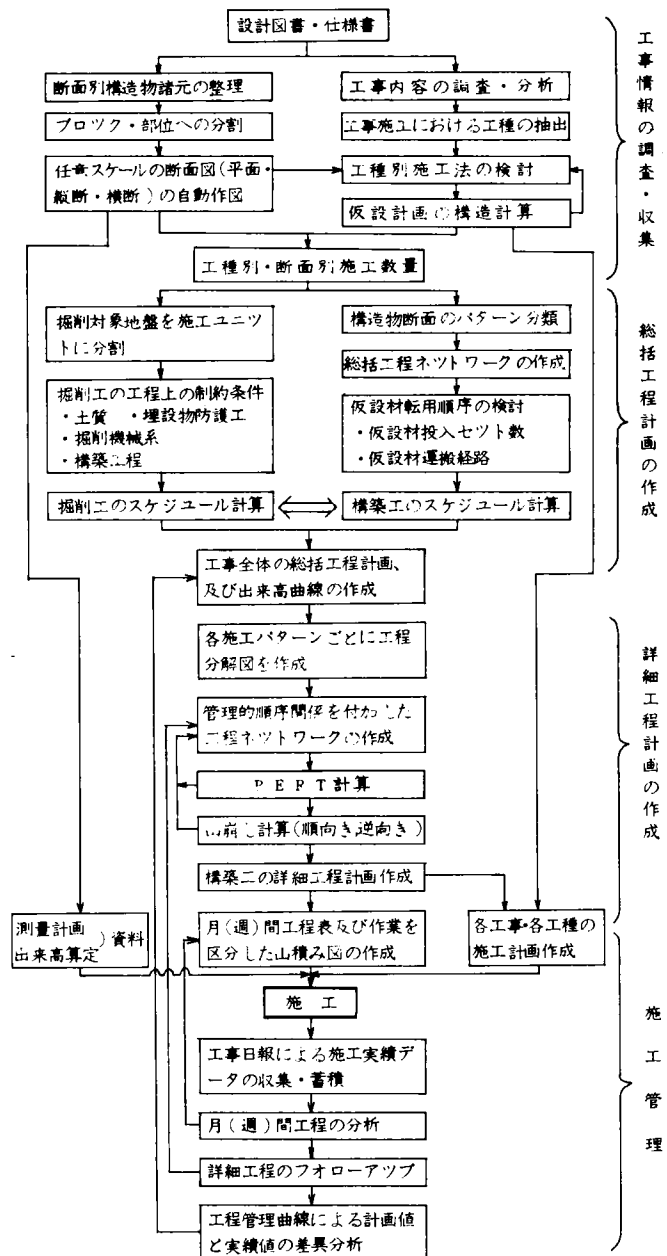
が取り上げられることとなった。

これらの問題点を体系的な観点から整理し、地下鉄開削工事における工程計画・管理のシステム化を目的としてフロー図に取りまとめたものが図－2.15である。

この図に示されている工程計画・管理問題の中で、当地下鉄工事に適用し、具体化された研究課題を列挙すると、以下のとおりである。

- ① 構造物断面図の自動図化と施工数量の算出、
- ② 掘削工事の総括工程計画の作成、
- ③ 構築工事の総括工程計画の作成、
- ④ PERTによる詳細工程計画の作成、
- ⑤ PERTによる月間工程計画の作成、
- ⑥ 工事日報による施工実績情報の収集・処理、
- ⑦ 施工管理資料の統計的分析と工事管理への利用。

これらの各課題は本章における適用研究であるのみならず、本研究を通して一貫して抱えている研究課題であって、地下鉄



図－2.15 地下鉄開削工事における工事計画・管理のフロー

工事はもとより他の工事種類への適用性を含めるものである。又、適用すべき手法・技法に関してもネットワーク手法やシミュレーション手法に限らず土木工事の工程計画・管理への適用性の検証という観点から出来高曲線等の統計的特性についても考察することにした。

## 2. 地下鉄構造物断面図の自動作図

施工計画書の作成時期は工事着工に向けての調査・準備のために工事現場全体が多忙であり、計画・作成業務は迅速にしかも正確に行うことが要求される。

地下鉄工事の設計図書は構造物位置の座標や断面諸元を表示しており、それらの諸数値をコンピュータに記憶させ、コンピュータ・プロットングの技術を用いて各種図面の自動図化を行うことは比較的容易である。地下鉄開削工事の主要な工種としては杭打設工、路面覆工、山留工、掘削工、構築工、埋戻工など数多くのものがあり、それぞれの工種の内容によって必要とされる図面の縮尺は異っている。また、構造物の断面諸元が与えられると、施工計画、工程計画、実施予算等の作成に際しての基本情報となる施工数量を算出することが可能となる。施工計画作成業務の省力化、迅速化が図られ、それらの作業に伴いがちな初歩的なミスの防止に役立てることができる。

図-2.16 は、設計図書で与えられている地下鉄構造物断面の諸元および座標値を入力してXYプロッターに出力される各種断

面図作成および施工数量算出のフローを示したものである。

図-2.17 (a) は設計図の断面データを用いて自動作図した縦断面図の1例である。縦断面図には、図中に斜線で示しているように施工の完了した施工ユニットの出来形を表示できるようにしており、出来高管理に利用することができる。また、図-2.17 (b) は線路部の横断面図とその断面を含む施工ブロックの施工数量を部位別に求め、それをXYプロッターで出力したものである。この数量表から各

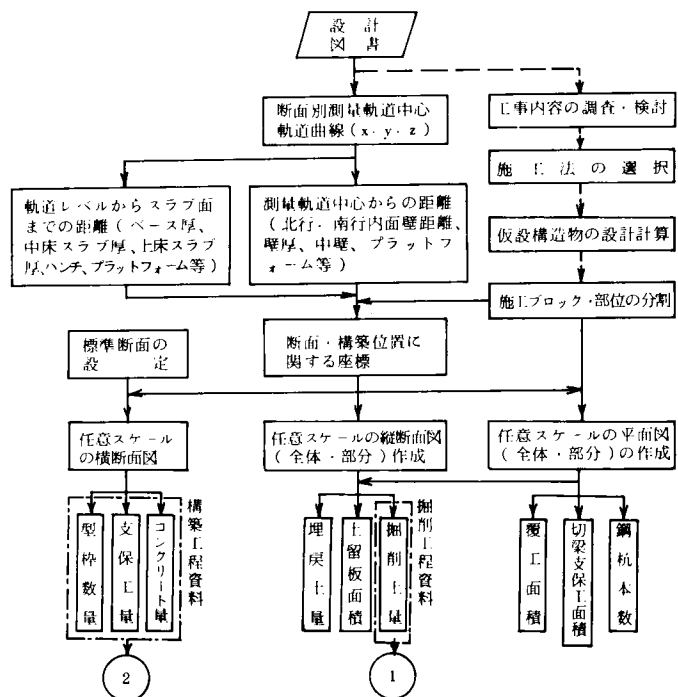
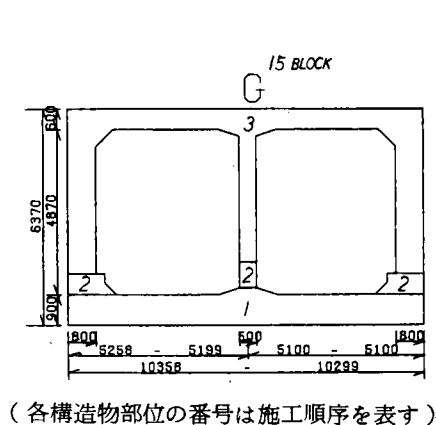


図 2.16 断面図作成と施工数量算出のフロー



図－2.17 (a) 設計図書データを用いて自動作図した縦断面図  
(出来形部分は斜線表示)



G 数量表 延長 11.001 M

資 材	部 位	数量 [/M]	数 量	備 考
コンクリート ( $\text{m}^3$ )	底 部	9.515	104.681	
	側 部	9.659	106.264	
	頂 部	1.424	15.671	
		7.467	82.145	
	そ の 他			
鉄 筋 (ton)	底 部	1.593	17.527	
	側 部	0.524	5.772	
	頂 部	1.112	12.235	
	そ の 他			
型 枠 ( $\text{m}^2$ )	底 部	1.800	19.801	
	側 部	4.946	54.412	
		2.770	30.472	
	頂 部	10.907	119.994	
		3.679	40.474	
支 保 工 (空 $\text{m}^3$ )	上 部	39.150	430.692	容積表示
	下 部			

図－2.17 (b) 設計図書データを用いて自動作図した線路部横断面図  
および同断面を含む施工ブロックの施工数量表

施工ユニットにおける主要な工種（コンクリート打設、鉄筋組み、型枠組み、支保工組み）の施工数量が得られるので、作業処理能力（作業歩掛）や作業投入人数などのその他の工程データとともに、総括工程計画や詳細工程計画の作成のために利用することができる。

### 3. 地下鉄工事の総括工程計画の作成

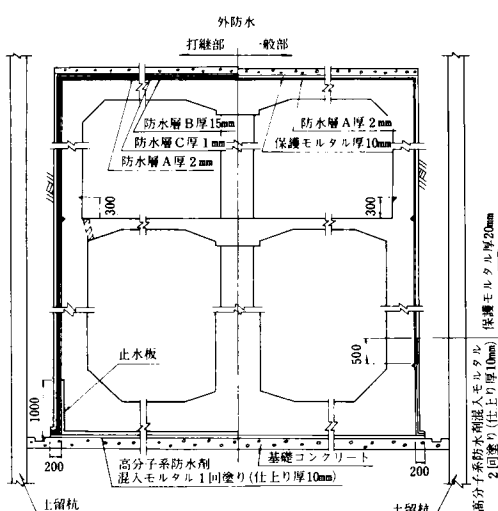
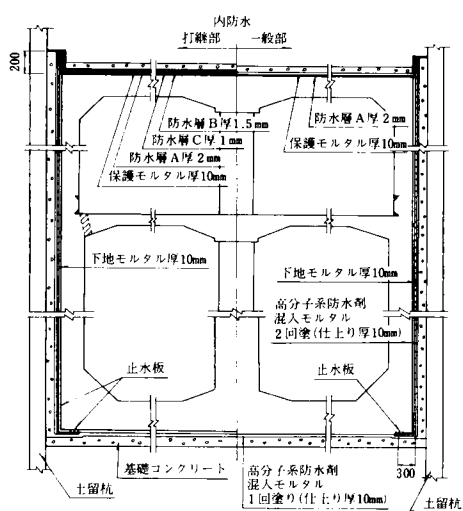
総括工程計画は着工前の計画作成作業としては工事の成否を左右するもっとも重要な段階であるといえる。地下鉄工事の総括工程計画は、工事全体に占めるウェイトから、掘削工事と構築工事を中心として作成されることになる。したがって、全体工程を合理的に定めるためには、掘削工程と構築工程のそれぞれを定量的に表現するとともに両者の工程上の関連性を定量化して組み込むことのできる工程計画手法の開発が必要とされている。

### 3.1 本体構築工事の工程パターンと施工ユニット分割

地下鉄構造物本体は駅部と線路部に分かれている。工事施工の単位としては、それぞれの区間の長さや施工数量を考慮して、駅部 10 ブロック、線路部 10 ブロック、合計 20 ブロックに分けて施工することにした。構造物断面形状の特徴としてはポンプ室とピット部の有無があり、施工方法の特徴としては、図－2.18 に示すように、防水工事の施工順序と壁とスラブの分割施工を上げることができ。当工事においては、これらの施工条件を考慮して、工事全体を次の 6 つのパターンに分類することにした。すなわち、

- ① 駅部・外防水区間（く体コンクリート打設工が防水工に先行）… 1, 3, 4, 5, 6, 7 ブロック、
- ② 駅部・ポンプ室・外防水区間… 2 ブロック、
- ③ 駅部・ピット部・内防水（防水工がく体コンクリート打設工に先行）… 8 ブロック、
- ④ 駅部・内防水区間… 9, 10 ブロック、

		駅 部										線 路 部									
		外防水区間(カベ・スラブ同時施工)										内 防 水 区 間									
部 位	上床スラブ																				
	上床カベ																				
	中床スラブ																				
	中床カベ																				
	底床版																				
ブロック		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20



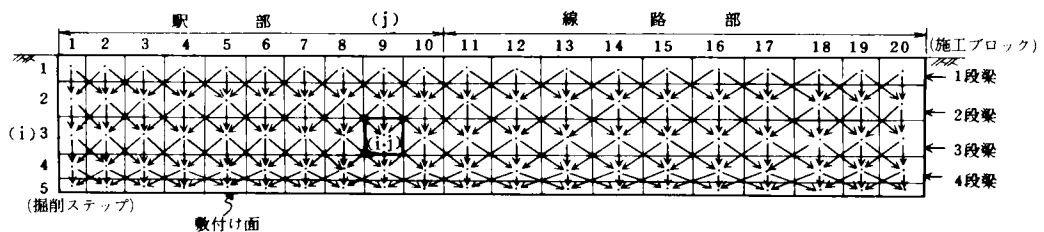
図－2.18 構築工事の施工ユニット分割と施工方法

- ⑤ 線路部・内防水区間…11, 12, 13, 14ブロック,
- ⑥ 線路部・外防水区間…15, 16, 17, 18, 19, 20ブロック。

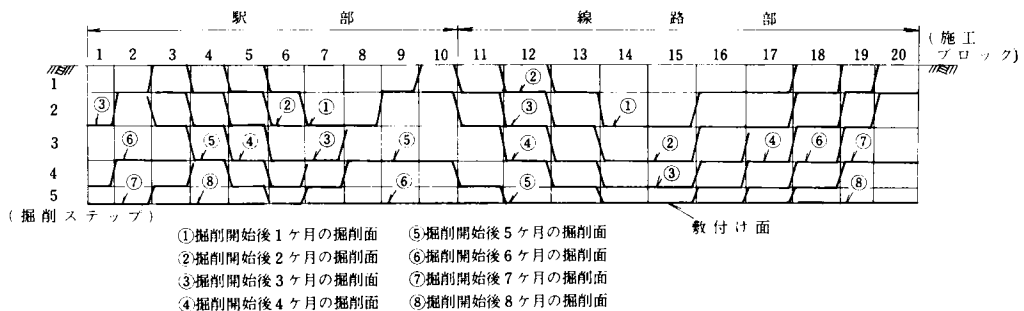
### 3.2 掘削工事における施工ユニットへの分割

掘削工事においては、親杭横矢板工法による土留壁を5段の切梁支保工で支持することにした。これらの切梁支保工のために、掘削工事は深さ方向に5分割されることになる。一方、水平方向に関しては物理的に設けられる施工上の区分というものはないが、掘削工事が完了した施工ブロックから逐次構築工事に取りかかることを考えて、図－2.19に示すように、構築工事の施工ブロックと対応づけるように20ブロックに分割することにした。

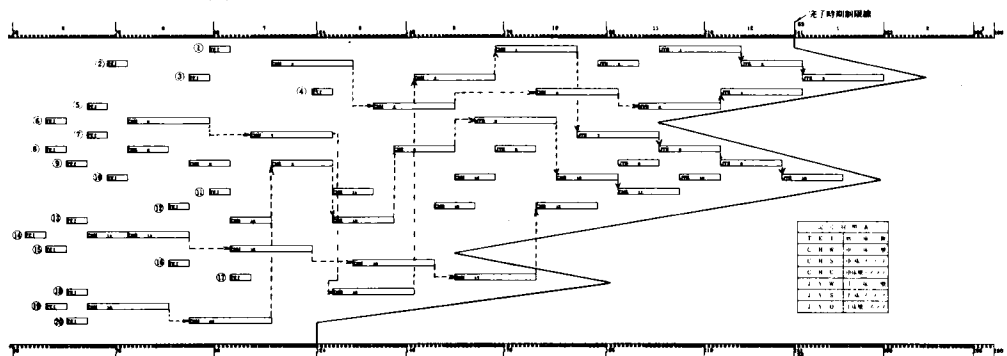
総括工程計画の作成法に関する詳細な考察は次章に譲ることとして、図－2.20および図－2.21に示すような掘削工程および構築工程の総括工程レベルのスケジュールが求められた。



図－2.19 掘削工事の施工ユニットと施工順序関係のモデル化



図－2.20 掘削工事の総括工程計画のアウトプット事例



図－2.21 構築工事の総括工程計画のアウトプット事例

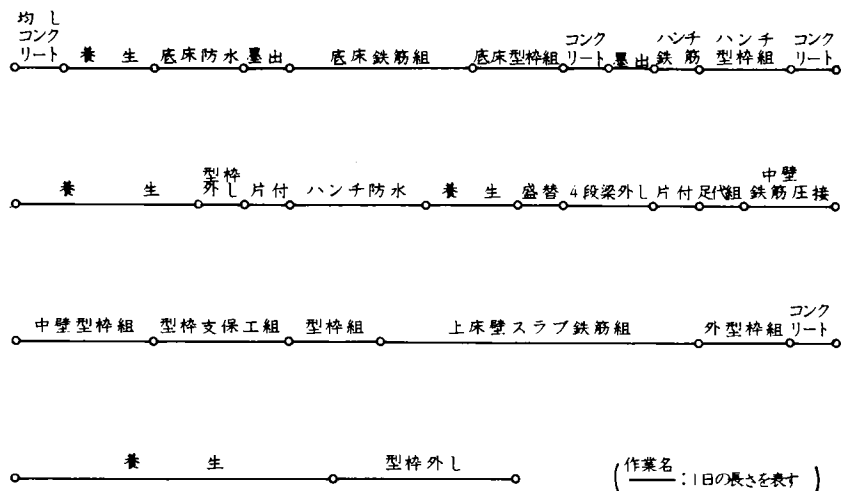
#### 4. 本体構築工事の詳細工程計画の作成

##### 4.1 作業特性値の算定と工程分解図の作成

当工事では、総括工程計画の検討とともに工事中当初から構築工事の詳細工程計画をネットワーク工程表を用いて作成した。詳細工程計画作成段階においては、工事の施工単位もより詳細に決定されていたので、表－2.6に示すように各作業をブロック、部位、工種で分類・整理するとともに、それと対応して作業対象数量の計画数量を算出した。また、各作業の投入人数、処理能力（歩掛）、および所要日数については、各施工ブロックを施工方法の区分にしたがってパターン化したグループごとに図－2.22に示すような工程分解図を作成し、その中に記入する形で求めた。このような処理をすべてのパターンについて行って、すべての作業の作業特性値と技術的な順序関係とからなる詳細工程ネットワークを作成した。さらに、総括工程計画の結果と現場主任技術者の判断にもとづく管理的な順序関係を与えて詳細工程ネットワークを完全なものとした。

表－2.6 ブロック・部位・工種分類で表示した各作業の計画数量

部位 工種 ブロック		底 床			梁・ハンチ			中床カベ			中床スラブ			上床カベ			上床スラブ				
		型枠 ㎡	鉄筋 t	コン クリ ㎡	型枠 ㎡	鉄筋 t	コン クリ ㎡	型枠 ㎡	鉄筋 t	コン クリ ㎡	型枠 ㎡	鉄筋 t	コン クリ ㎡	型枠 ㎡	鉄筋 t	コン クリ ㎡	型枠 ㎡	鉄筋 t	コン クリ ㎡	型枠 支保工 空㎡	
駅 部	1	32.5	38.3	335	8.6	8.4	71				397.3	27.3	240	1,014				360.7	72.5	634	590
	2	54.0	64.4	588	12.9	7.8	71				609.2	40.5	370	1,512	243.9	25.1	229	255.2	98.2	898	897
	3	44.8	55.0	470	12.9	9.1	78				596.0	40.7	348	1,510				509.5	89.5	766	900
	4	37.4	48.9	384	12.9	9.5	75				592.5	40.6	319	1,527				489.5	55.2	433	843
	5	44.4	57.0	472	12.9	9.4	78				592.1	41.3	342	1,519				516.0	81.5	675	883
	6	60.0	89.1	622	12.9	12.6	88				694.4	58.5	409	1,485				606.9	162.9	1,138	890
	7	49.7	72.6	518	12.9	11.8	84				564.4	54.0	386	1,448				525.2	124.5	898	863
	8	48.9	90.2	478	75.4	10.8	57				425.8	54.5	289	1,079				454.3	160.4	851	595
	9	63.7	92.9	608	94.6	8.5	56	370.7	46.1	302	301.5	26.7	175	1,753	415.9	42.2	276	283.1	187.3	838	964
	10	54.8	80.6	485	65.6	12.4	75	258.7	50.1	302	257.7	31.4	189	1,326	225.9	19.1	115	224.5	144.9	873	663
線 路 部	11	24.5	55.2	365	76.1	7.8	52								368.9	24.7	164	218.8	36.1	238	1,059
	12	23.2	34.0	296	84.8	4.9	43								455.0	23.1	202	193.6	24.7	215	960
	13	20.7	30.2	238	84.8	5.0	39								452.4	20.2	159	174.9	21.3	167	850
	14	23.5	26.9	238	82.6	4.5	39								450.6	18.2	158	159.8	16.8	146	779
	15	41.9	25.8	222	85.6	4.7	41											723.8	36.1	311	788
	16	40.2	24.9	213	84.8	4.5	39											715.3	35.7	305	765
	17	42.1	24.7	220	86.2	4.3	38											725.6	32.5	289	773
	18	34.3	19.3	178	84.8	4.0	37											715.7	29.3	270	761
	19	22.5	14.1	116	65.2	3.9	32											550.5	24.1	197	585
	20	27.2	16.5	150	78.7	3.5	32											664.3	27.6	250	706



図－2.22 詳細工程ネットワーク作成のための工程分解図の1例

## 4.2 全体工程計画のスケジュールの作成

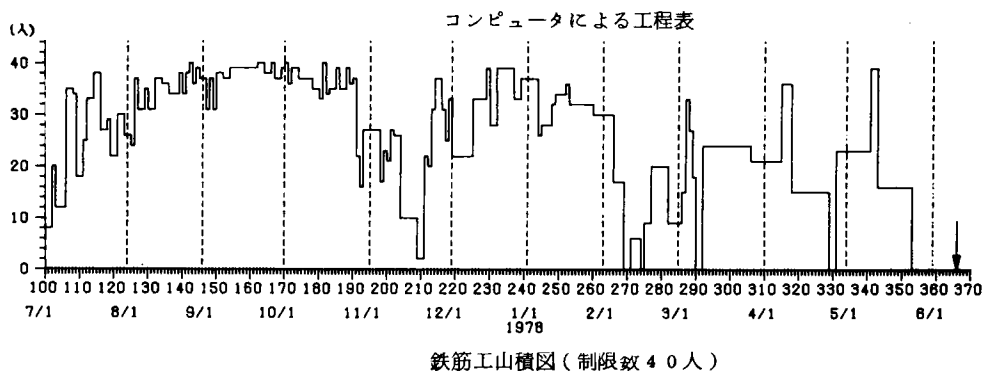
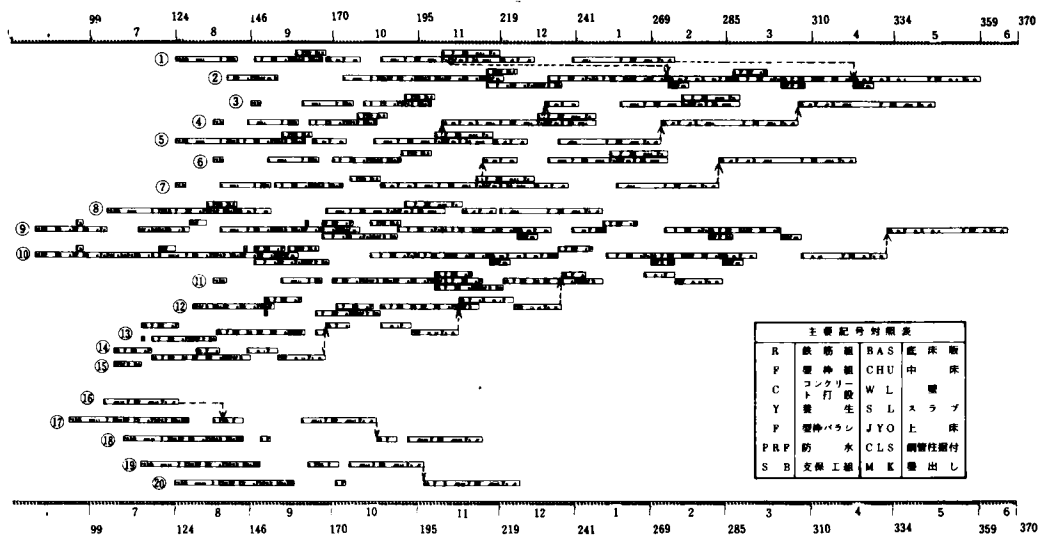
詳細工程ネットワークは型枠支保工の準備セット数と運用順序から規定される管理的な順序関係を設定したが、調達条件の厳しい鉄筋工，大工の運用方法に関する制約は加えていなかった。それで，詳細工程計画のPERT計算ののち鉄筋工，大工について山崩し計算を行って両者の調達条件を満たすスケジュールを求めることとした。そして，その結果を図－2.23に例示するように全体工程表と資源山積み図についてプロッターで図化表示して各代替案の良否を比較評価することにした。

## 4.3 全体工程計画のフォローアップ

全体工程計画は工事着工当初に作成したが，工事の施工条件や作業処理能力はその時点で得られた標準的な値のものであった。また，構築工事に先行する掘削工事の進捗状況は詳細工程計画作成時点に想定したものとは異なった進展を見せてきていた。そのために，掘削工事後半に入って，構築工事の詳細工程計画を工事施工の実施状況に沿って修正することとした。そのために，各施工ブロックの最終的な掘削完了時期を推定してそれに見合うような型枠材の転用順序を数案作成した。そして，それらに対して，大工，鉄筋工の投入人数に制限を与えてPERT計算および山崩し計算を行った。このようにして，工期と資源調達条件を満足ししかも実際の工事進捗状況を反映した全体工程計画を作成することができ，構築工事に着手することとなった。

しかしながら，構築工事に着手してから数ヶ月たっても，図－2.24の出来高曲線による工事進捗状況の表示にあるように，当初に予定していた施工進度が得られず，その理由を分析したところ鉄筋工の処理能力不足と調達人数の不足に原因のあることがわかった。それと同時に，着工当初から懸案





鉄筋工山積図(制限数40人)

図-2.23 詳細工程ネットワークによる実施工程計画の作成

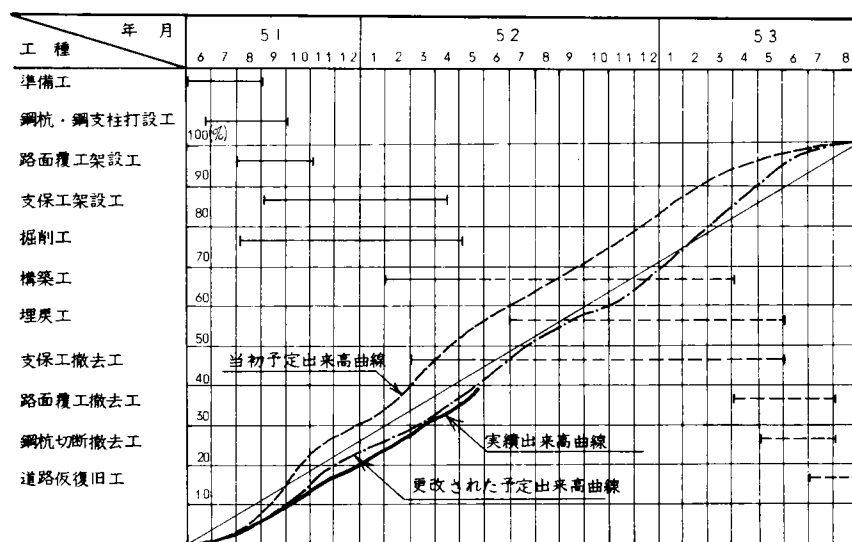
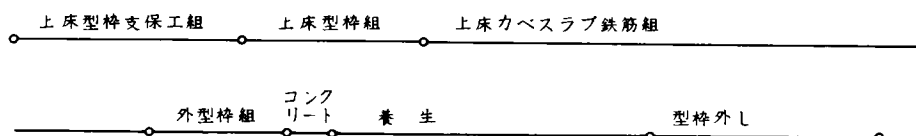


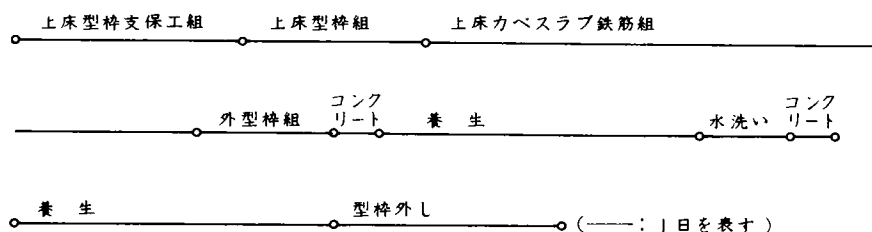
図-2.24 出来高曲線による工事進捗状況の評価

であった高架橋ピア基礎を上載する部分の上床スラブの施工方法を変更することが確定した。これは、その部分の上床スラブの厚さが2.90 mと非常に厚く、また、鉄筋数量も多いために、それだけの重量を中床スラブで支持することが困難であると判断されたからである。このため、上床スラブのコンクリート打設を2回に分けて行い、さらに中床スラブの補強工を架設して図－2.25に示すような工程で施工することとなった。そして、これによる工期延伸を防ぐために型枠支保工の投入セット数を当

(a) 当初予定工程



(b) 変更予定工程



図－2.25 全体工程計画のフォローアップにおける作業工程の変更

初の6セットから7セットに増加することにした。また、鉄筋工の投入状況に関しては、線路部は当初予定のとおりとし、駅部の上床スラブ部分の施工方法の変更をも考慮して駅部は別の作業グループを投入することとして従来の40人の調達予定から全体で60人の調達に変更することとした。このようにして地下鉄工事の全体工程計画のフォローアップを行ったのであるが、この工事と併行しての施工が予定されていた高架橋下部工事と共同溝工事をも含めて調整して、予定工期内にすべての工事が完了することを確認したものである。

こうした錯綜した状況のもとでも実際の施工状況を反映させた工程計画の変更処理を行うことができたのはプレシードンス型ネットワークを利用したことによるものであり、当工事への適用をとおして工程計画・管理手法としての有効性を実証的に明らかにすることができた。

## 第8節 結

## 言

工程計画・管理は工事計画・管理システムの中心的機能を有するものとして認識される。工事計画・管理システムは土木工事施工の合理化の重要な部分を占めるものである。工程計画・管理のシステム化も同様の視点に立つことが必要であり、それはトータルシステムとして構築されるべきである。本研究は、こうした考えのもとに、工程計画・管理のトータルシステム化の方法に関する研究を行ったものである。

まず、第2節においては、工程計画・管理のシステム化は工事計画・管理システムの構築の中で進められるべきであるという観点に立って、工程計画・管理の課題を工事計画・管理のプロセスと対比して整理した。その結果、近年の土木工事の施工環境の厳しさなどのために、分析的な工程計画手法の導入が必要であること、工事施工の内容を工程計画の中で実体的に表すために工程計画の構成要素の計画・管理特性を分析的に明らかにすべきであること、また、土木工事施工の特殊性から工事の施工目標を望ましい水準で達成するためには施工途中の各時点において全体工程計画のフォローアップを行い、工事施工の実態に追従させての管理が必要不可欠であること、を明らかにした。

第3節においては、工程計画・管理を工事計画・管理のプロセスと対応づけて考察することにより、工程計画・管理システムは総括工程計画、詳細工程計画、月(週)間工程計画および工程計画のフォローアップという4つのプロセスとして構成されることを明らかにした。そして、フロー図を用いてそれぞれのプロセスの内容と課題について考察した。さらに、バーチャート工程表、座標式工程表、ネットワーク工程表、工程管理曲線、シミュレーション手法の各種手法について工程計画・管理への適用性について考察し、ネットワーク手法に工事施工特性を導入することによって、トータルシステムとしての工程計画・管理システムの構築が可能になるであろうということを示唆した。

第4節においては、工程計画の中に工事施工特性を導入する方法について考察した。すなわち、工事施工の内容をトリー構造状に分解していくとき、施工ブロック、構造物部位、工種、作業という4つの施工単位に注目することにより合理的に分解されることを明らかにした。そして、工程計画・管理との関連性という観点から、それぞれの施工単位の内容について考察した。その結果、前述の総括工程計画、詳細工程計画、月(週)間工程計画はそれぞれ工事施工における構造物(施工ユニット)、工種(単位作業)、作業(要素作業)の各レベルに概略対応するものであることがわかり、それぞれの工程計画は工事施工のプロセスとの関係において実体的な意味を持つことが明らかとなった。

第5節においては、工程計画・管理システムの確立は全体工程計画の作成方法の確立が先決であるという考えに立って、全体工程計画の構成要素の定性的特性について考察した。工程計画の構成要素としては、直接的な要素である作業対象数量、作業処理能力、作業グループの構成数、間接的な要素である作業所要日数、作業所要費用がある。これらの諸要素について考察することにより工程計画作

成にあたってのそれぞれの役割や機能が明らかにされた。また、それらの各要素の間の、経験的に正しさが裏付けられているある1つの関数関係に注目することによって、工程計画の代替案作成にあたって各要素をパラメトリックに操作するときの他の諸要素の挙動が把握でき、それによって工程計画代替案の作成が効果的に行われることを示した。

第6節においては、前節までの研究成果を地下鉄工事に適用することにより、プレシーデンス型ネットワークによる合理的な工程計画作成方法について考察した。本研究のこれまでの考察から、工程計画・管理システムの構築にはネットワーク手法の導入が有効であることがわかったが、従来から一般的に用いられてきているアロー型ネットワークと比較して工事の施工工程のプロジェクトグラフと1対1に対応するプレシーデンス型ネットワークは工程ネットワークデータの取り扱い易さという著しいメリットのあることを明らかにした。また、工程計画の作成は工事施工のプロセスに認められる施工パターンによって合理的に行うことができるが、プレシーデンス型ネットワークはその点においても有利である。こうした考察にもとづいて、プレシーデンス型ネットワークの適用を前提として、工程ネットワークデータのパターン化、すなわち、単位工程の表示方法のパターン化、総括工程および詳細工程の所要日数算定法のパターン化、および作業間の順序関係のパターン化についてその方法を示した。

第7節においては、前節までのプレシーデンス型ネットワークによる工程計画・管理システムを中心として地下鉄工事への適用を行った事例を示した。地下鉄工事への適用は構造物図面の自動作図、掘削工程へのシミュレーション手法についても見るべき成果があったが、プレシーデンス型ネットワークによる総括工程計画の作成、詳細工程計画の作成を行い、特に詳細工程計画のフォローアップ処理をとおして本研究の方法は実際の工事に適用した場合の効果が大きいということが明らかとなった。

## 参 考 文 献

- 1) 川崎健次・春名攻・田坂隆一郎・笹嶋博：ネットワークモデルによる施工計画システムに関する研究，土木学会論文報告集，第204号，p. 95，1972.
- 2) 春名攻・田坂隆一郎：土木施工における工程計画・管理のシステム化に関する実証的研究，第5回土木計画学研究発表会講演集，pp. 638～647，土木学会，1983.
- 3) 川崎健次・田坂隆一郎・折田利昭：ネットワーク手法による工程計画・管理のシステム化，第33回年次学術講演会講演概要集第Ⅳ部，pp. 307～308，土木学会，1978.
- 4) 川崎健次・田坂隆一郎・折田利昭：総括工程計画作成の方法に関する一考察，第34回年次学術講演会講演概要集第Ⅳ部，pp. 378～379，土木学会，1979.
- 5) 前出2).
- 6) 川崎健次・田坂隆一郎・折田利昭：ネットワーク手法による施工進捗管理法に関する一考察，第32回年次学術講演会講演概要集第Ⅳ部，p. 277，土木学会，1977.
- 7) 前出2).
- 8) 田坂隆一郎・折田利昭：工程のリプランニングを考慮したフォローアップの方法について，第36回年次学術講演概要集第Ⅳ部，pp. 47～48，土木学会，1981.
- 9) 笹間一夫：建築工事の工程管理—横線式からネットワークまで，理工図書，1972.
- 10) 前出2).
- 11) 吉川和広・春名攻・武政功：座標式工程表を用いた工事施工のスケジューリングに関する理論的検討，第5回土木計画学研究発表会講演集，pp. 648～656，土木学会，1983.
- 12) たとえば，刀根薫：PERT講座 I 基礎編，東洋経済新報社，1973.  
五百井清右衛門：PERT CPM RAMPS ネットワークプランニング，日刊工業新聞社，1968.
- 13) 春名攻・田坂隆一郎：工事施工の多階層構造特性を考慮した工程計画・管理のシステム化，第3回土木計画学研究発表会講演集，pp. 253～262，土木学会，1981.
- 14) 飯吉精一：新しい建設業と施工経営管理，pp. 306～317，技報堂，1970.
- 15) 春名攻・田坂隆一郎：地下鉄開削工事における掘削工程のシステムシミュレーション，土木学会論文報告集，第293号，1980.
- 16) 前出13).
- 17) 春名攻・田坂隆一郎：土木工事の工程計画の方法に関するシステム論的考察，土木学会論文報告集，第318号，1982.
- 18) 前出1).
- 19) 前出13).
- 20) 川崎健次：建設工事における工務管理の合理化に関するシステム論的研究，学位論文，1974.

- 21) Moder, J.J. and Phillips, C.R. : Project Management with CPM and PERT ,  
Second Edition , Van Nostrand Reinhold Co., 1970.
- 22) Wiest, J.D. and Levy, F.K. : a Management guide to PERT / CPM : with  
GERT / PDM / DCPM and other networks , Second Edition, Prentice-Hall, 1977.
- 23) Richard H. Clough · Glenn A. Sears · 井戸禎光訳 : 建設工事プロジェクト・マネジメン  
ト実践マニュアル, 日本技術経済センター出版部, 1980.
- 24) 前出2).
- 25) 前出13).
- 26) 川崎健次 · 春名攻 · 西野久二郎 · 田坂隆一郎 · 折田利昭 · 安井英二 : 土木工事における施工計  
画・管理システムに関する研究, 第1回土木計画学研究発表会講演集, pp. 124 ~ 140, 1979.

### 第3章 総括工程計画のスケジューリングの方法に関する事例研究

#### 第1節 緒 言

工事全体の工程計画は、計画作成時期とその計画内容から、総括工程計画、詳細工程計画および月（週）間工程計画という3種類に分類することができる。それぞれは、施工ブロックと構造物部位によって区分される構造物の施工単位としての施工ユニット、各種工事用資源の運用単位を表す工種レベルの単位作業、および日々の施工活動に対応する要素作業を単位工程として作成されるものであることを、前章において明らかにした。全体工程計画を、このように、多階層構造として表される工事の施工単位と対応づけて3段階の工程計画に分けて取り扱うことは、他の計画・管理要素との関係もあって複雑な挙動を示す全体工程計画問題を比較的単純でモデル化やシステム化の容易な部分的な工程計画問題として取り扱うことを可能とする。そればかりでなく、工程計画の内容を工事施工の実態に即して実体的にかつ合理的に表すのにも役立つ。とくに、工事の構想化の段階における総括工程計画については工事施工の基本的構想を全体工程の中で総括的に評価するという重要な工程計画機能を果たすることが要求されており、合理的な工程計画作成法の必要性は大きいといえる。つまり、施工方法が提案されると、まず各構造物断面に対して力学的安全性の検討が行われるが、その施工方法を用いて構造物を築造していくときの施工単位の設定に関しては施工作業の安全性や構造物の品質の確保と工事施工の経済性や迅速性の追求という工学的側面からの合理性の評価によってその規模と施工順序が決定されることになる。それと同時に、工事全体にわたる主要な工事用資源の配分計画と工事期間の確保という工程的側面からの検討と評価が加えられて、工事施工の基本的方針が確立される。したがって、総括工程計画は、適用される施工方法の力学的・工学的特性にもとづく構造物の分割基準と主要工事用資源の配分計画にしたがって、工事施工の基本的構想の実行可能性もしくは最適性を工程的側面から保証するものであり、工事計画作成に果たす役割は非常に大きいといえる。

本研究においては、まず、総括工程計画の工事計画作成における位置づけを行って、その目的が主要資源の運用計画にもとづく工事計画のフレーム作成にあることを明らかにする。施工計画や工程計画の中心となる総括工程計画は施工ユニットの設定基準を明確にすることによってどのような工事種類においても合理的に作成することが可能であることを明らかにする。次いで、市街地工事の代表的な工事種類である地下鉄工事について、その主要な工事である掘削工事と構築工事を取り出して両者の組合せのもとでの総括工程計画作成の方法に関する考察を行う。

単位工程の設定基準や施工順序の規定条件に関して、掘削工事と構築工事とは異なる特徴を示すこ

とから、それぞれの施工上の特徴を考慮した単位工程のモデル化を行うとともに、掘削工事に対してはその施工特性から離散型シミュレーション言語によるシミュレーション手法を適用する。一方、構築工事については、詳細工程計画の作成にネットワーク手法を適用することが適切であることから、両者の整合を保つためにネットワーク手法の適用を図る。さらに、掘削工事は構築工事に直接的に先行して行われることから、掘削工事の施工ブロックを構築工事の施工ブロックと1対1に対応するよう設定することによって両者の整合を取ることにする。

これらの総括工程計画モデルを大阪市南部の地下鉄工事に適用することにより、本研究の有効性を明らかにする。

## 第2節 総括工程計画のシステム化の方法

### 1. 総括工程計画作成の基本的な考え方<sup>1)</sup>

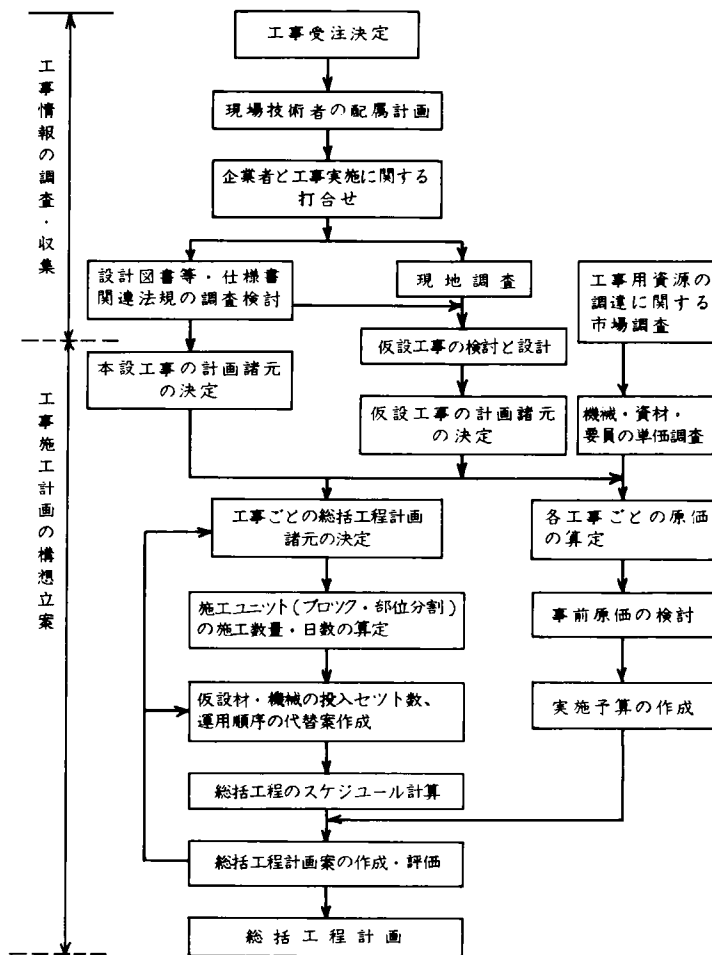
さて、工事の受注が決定すると、まず、現場技術者の配属と現場施工組織の編成が行われる。工事現場では、設計図書や仕様書の内容を検討し関連する諸法規を調査するとともに、現地踏査を行って工事施工条件を把握する。一方、工事に用いる諸資源の調達や施工技術・施工方法の調査を行って、仮設工事の検討をする。工事内容に関する理解と工事情報の調査・収集が一段落すると、次には施工計画の作成に移行していくことになる。従来は、この段階から直ちに各工事ごとの個別的な施工計画内容の検討に入っていくのが普通であった。すなわち、個々の仮設工事についてその施工技術的側面からの力学的な安全性の解析や工学的な合理性の検討を中心として施工計画の内容を確立していこうとする方法が取られていた。そして、工事全体のスケジュールや工事費用の面でそれらの施工計画が望ましいものであるかどうかの評価は十分には行われないうで、工程についてはバーチャート工程表などの簡略化された方法を用いて概略の表示を行う程度にすまされていた。

しかしながら、この時期は工事計画の作成に関して未知の部分や不確定な要素が多いにもかかわらず、工事施工の基本的な枠組みを決めてしまわなければならない重要な段階である。とくに、近年のように工事内容が大規模化して工事施工上の制約が厳しくなってくると、個々の工事や各工種の施工計画の内容が工事全体の工期の制約や主要な工事に用いる資源の調達の制約を満足しており、その面でも実行可能な計画であることを評価しておくことはきわめて重要なことであるといえる。さらに、それらの施工計画にしたがって工事を実施して望ましい水準で所期の施工成果を得る、という管理的な立場からは、主要な資源の運用計画をも含めて各工事や各工種のスケジュールが全体工期の中で総体的にバランスが取れていて、管理しやすい計画となっていることが大切である。

図－3.1は、上述のような目的を有する総括工程計画の位置づけとその作成手順を、工事計画作成



のプロセスと対比して、フロー図として示したものである。従来から行われている工事計画の作成方法では、この図に示すように、工事施工の構想化の段階を1つの計画段階として認識しないで、ごく概略的な検討だけでそのまますぐに工事実施計画段階に入ってしまうのが普通である。これに対して、本研究のように、工事施工の構想化の段階は1つの計画段階であるとし、その計画化を



図－3.1 総括工程計画の位置づけと作成フロー

図っていくことは工事計画・管理の合理化に大きく奇与すると考える。

図に示した手順にしたがって工事計画の基本フレームを確立していくのであるが、フロー図を見てもわかるように、各施工ユニットの作業特性値や各施工ブロックの中の技術的な順序関係は施工技術的な検討結果から得ることができる。したがって総括工程計画作成における課題は工期と資源の調達条件の制約のもとで主要な資源の運用効率の最大化を図る、つまり、もっとも合目的な管理的な順序関係とそのときのスケジュールを求めるという計画問題に帰することになる。その場合の主要な評価要素は工期であるから、各種施工計画の代替案に対して求められる工事所要期間は次のようにモデル的に表すことができよう<sup>2)</sup>。

$$\lambda = \lambda(S, P) = \lambda(P^{(R)}) \quad (3.1)$$

ただし、 $\lambda$ ：工事所要期間、 $S$ ：工事全体の作業特性値の集合で施工計画案が指定されると定数と

して扱われる。 $P$ ：工事全体の順序関係の集合， $P(R)$ ：各施工計画案に対して求めるべき管理的な順序関係の集合。

管理的な順序関係は、工事用資源の運用計画を定める主要な要素であり、その決定法についてこれまでに提案された方法をも含めて以下に要約して考察する。

管理的な順序関係を決定する1つの立場は、工事に投入される作業グループ、機械系および仮設資材セットの運用順序を何らかの規準にもとづいて処理対象となる単位工程の順序列として求め、それを管理的な順序関係として、施工技術的な順序関係より成る全体工程ネットワークに重ね合わせる方法である<sup>3)</sup>。単位工程の順序列を求めるにあたっては、機械や資材の移動距離最小というような経験的な優先順位の規則にもとづいて作業間の着手順序をヒューリスティックに求める方法と、管理的な順序関係の決定問題を順列組合せの問題と見なしてある下界値を満足する順列組合せのみを効率よく選択しようとする分枝限定法を適用して求める方法がある<sup>4)</sup>。前者の方法では作業着手の優先順位の中に技術者の計画・管理上の判断基準を組み込むことはできるが、厳密な意味での最適性の保証は得られないのに対して、後者の方法では例えば工期や費用のように単調増加の評価基準を満足するすべての組合せを列挙することができる。しかし、この方法においては、投入される工事用資源の種類とそれぞれの投入数量、およびそれらが用いられる単位工程数が増加すると、その順列組合せの数は飛躍的に増加することになる。こうした点を考慮するならば、上記の2つの方法は作業数や工事用資源種類の多い詳細工程計画よりも、むしろ、それらの組合せが少くて済む総括工程計画の作成に適用することが望ましいといえるのであろう。

さて、もう1つの立場は、工事に投入される作業グループ、機械系および仮設資材の投入セットがそれぞれの資源の調達数の制約を満足するように、工事全体の評価要素の最適化を図るか、もしくは個々の作業に与えられる作業着手の優先順位の規則のもとに逐次各作業の処理時刻をスケジュールしていく、というものである。前者の最適性の原理にもとづく方法は、分枝限定法と同様に膨大な計算量を要することになる。後者の方法は、一般に工程ネットワークの山崩し計算法の考え方であって、この方法の場合、作業着手の優先順位の規則としてどのような規準を用いるかによって得られる結果が著しく異なることがある。したがって、この方法では、工程計画の最適性の保証より、むしろ、工程計画代替案の中から実行可能性が高く、しかも資源の使用効率からも判断してもっとも望ましい代替案の選択が可能となる方法を考案する必要がある。しかしながら、山崩し計算法においては、各時刻ごとに並行して行なわれる可能性のある作業に対して、作業着手の優先順位にしたがって取り出された作業がその作業で用いられる工事用資源の調達数の制約を満足すればその時刻にスケジュールし、そうでなければ満足する時刻まで遅らせるという方法を取ることで、直接的に管理的順序関係を求めるものでなく、作業数や工事用資源の種類の数および調達数の水準にそれほど大きくは影響されない。こうした点から、取り扱うべき作業数や工事用資源の種類が多い詳細工程計画においても十分に適用

可能な方法であるといえよう。

ところで、工程計画代替案の作成における総括工程計画と詳細工程計画の機能には次のような相違がある。

すなわち、総括工程計画は、各種の施工方法の利害得失を検討し工事運営の構想計画を具体化して、施工計画作成の基本フレームを確立するという点に重点が置かれるのに対して、詳細工程計画は、総括工程計画で求められた計画諸元とその後明らかにになった施工条件を用いて工事の実施スケジュールを決定することが計画作成の主な目的となる。したがって、計画作成の自由度という観点からは総括工程計画の方が自由度が大きいといえ、各種の数値計画モデルや最適化手法の適用される余地も大きいと考えられる。

しかしながら、実際の工事では、総括工程計画の作成段階においても詳細計画の作成段階においても、施工技術的側面からの制約に加えて、隣接構造物や隣接工区からの工事着手に対する制約、先行工事から規定される工事着手条件、後続工事によって支配される工事完了条件、そして工事全体の工事に用資源の調達条件など、工事に用資源の配分方法と工程計画の作成方法に関連する多くの条件が存在しているというのが普通である。しかも、これらの諸条件の工程計画作成への関わり方は一様ではなく、ケース・バイ・ケースのものとして考慮すべきものが多い。さらに、それらの条件の取りうる値は一意的でなく、ある範囲からの選択を求められることが少なく、それらすべての組合せについて検討しようとするとその数は膨大なものになってしまう。

こうした状況にある土木工事の工程計画作成方法の基本的な考え方としては、各種の最適化手法を用いて工程計画の最適性を追求することよりも、工事施工上の諸条件に適合する工程計画代替案を数多く列挙するとともにそれらの中から工事現場の主任技術者が判断してもっとも合目的性が高く実行可能性の保証がされている工程計画代替案を採用するという考え方の方が好ましく、かつ実際的であると考えられる。

ところで、総括工程計画は、施工技術上および施工方法の制約から土木構造物を分割施工する単位としての施工ユニットを単位工程とするものである。各単位工程の作業特性は各施工ユニットの施工特性によって定まり、それは当該工事の工事種類と構造物種類によって異なる個別的で特殊な施工特性を強く反映したものとなる。このことが総括工程計画の計画化、ひいては施工技術の進展に対する工事計画技術の立遅れを招いてきたと思われる。

本研究では、土木工事の施工特性を土構造物工事と（鉄筋）コンクリート工事に基本的に類別することが上記の問題に対して有効な考え方であるとしており、次にその点についての考察を行う。

## 2. 構造物種類による施工ユニットの工程特性の分析

土木工事の工事種類と構造物種類は、表－3.1に示すように、その用途、機能、構造形式によって

広汎多岐にわたったものとなっている。工事計画・管理の合理化という観点からは、このように多様化している土木工事を統合的に捉えていく必要があるが、ここでは土木構造物を構成する主要な材料に着目してその施工特性および工程特性について考察し、総括工程計画の作成方法との関連性を述べることにする。

土木構造物を構成する材料には種々のものがあるが、それらの中の主要な材料に着目すると、土木構造物は、

- ① 土・岩構造物、
- ② (鉄筋)コンクリート構造物、
- ③ 鋼構造物、

の3種類の構造物に大別することができよう。実際の土木工事はこれらの3種類の土木構造物が複合したものとなっているために、複雑な施工特性や工程特性を示している。各工事現場ではそれに対処する方法として、施工計画や作業計画は各構造物や各工種ごとに個別的に作成することとし、他の構造物や他の工種との間の工程的な調整は実際の工事の進展状況を判断しつつその場その場で決定する仕

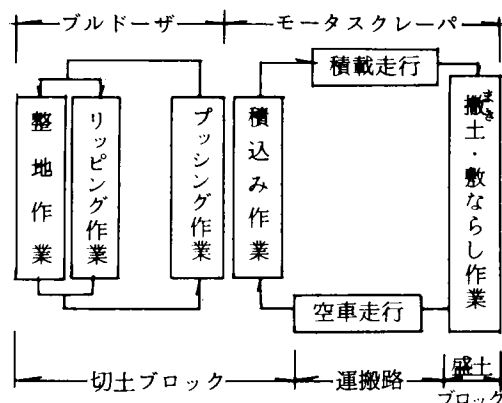
方を採用してきた。ここでは、それぞれの構造物種類の代表的な工事の施工特性ならびに工程特性について考察することにより、それらが複合した場合に、つまり、通常の土木工事について総括工程計画を作成するにあたって考慮すべき課題を明らかにすることとする。

土・岩構造物の代表的な工事種類としては土地造成工事をあげることができる。土地造成工事では、運土作業の土量、土質、方向、距離等を考慮して運土作業群をグルーピングして、それぞれの運土作業群を施工単位として一定構成の機械系を割り当てるのが普通である。運土作業は、図-3.2に示すように、切土、積込み、運搬、撒土、敷均しという一連の作業を組合せ、それを1つの機械系により処理するものとしてモデル化することができるが、これは実際にはグルーピングされた運土作業群に対して適用することになる。そして、工事対象区域全体の地形(原地形および計画地形)、地質、機

表-3.1 土木工事の工事種類と構造物種類の分類

構 造 物	工 事 種 類
1 基礎構造物(直接基礎)	1 河 川
2 基礎構造物(杭基礎)	2 海 岸
3 連続(柱列)地下壁	3 港 湾
4 ケーソン・ウエル	4 海 洋
5 トンネル(シールド)	5 鉄 道(地上)
6 トンネル(山岳)	6 鉄 道(地下)
7 トンネル(開削)	7 道 路(地上)
8 トンネル(沈埋)	8 道 路(地下)
9 切土構造物	9 宅地造成
10 盛土構造物	10 農地造成
11 法 面	11 ゴルフ場造成
12 擁 壁	12 浄水場、抽水場
13 構 架	13 下水処理場
14 高 架 橋	14 廃棄物処理場
15 路床・路盤	15 上 水 道
16 開 水 路	16 下 水 道
17 暗渠・管渠	17 共 同 溝
18 カルバート	18 貯蔵施設(地上)
19 水門・樋門	19 貯蔵施設(地下)
20 ダム(フィル)	20 発電施設(地上)
21 ダム(コンクリート)	21 発電施設(地下)
22 堤 防	22 砂 防
23 岸 壁	23 農業土木
24 棧 橋	24 用水工事
25 ドルフィン	25 ドック
26 バース	26 修繕工事
27 ドック	27 工場施設
28 タンク・槽(地上)	28 そ の 他( )
29 タンク・槽(地下)	
30 地下空洞	
31 パイプライン	
32 その他( )	

械系の構成等を考慮して、運土作業群をいくつかのブロックにまとめることによりそれぞれのブロックの所要日数とブロック間の施工順序を求めて、工事全体のスケジュールを定めることになる。したがって、土地造成工事においても、運土作業をグルーピングして運土作業群を求め、さらにそれらをまとめてブロックを設定していくというようにいくつかのレベルの施工単位が存在することがわかる。



図－3.2 土地造成工事における  
各施工ユニットの運土作業

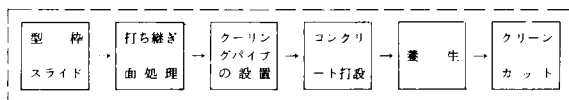
ただし、土構造物工事の場合には、これらの

施工単位と土構造物との明確な対応関係というものはなく、自然地形と計画地形の関係から、投入機械系の稼働性等を考慮して対象工事の工事出来高の概略的な目標を設定するという考えのもとに半経験的に定める場合が多い。そして、土構造物と他の構造物とが密接に関連してくるにしたがって、土構造物の施工単位はコンクリート構造物などの他の構造物工事の施工単位を基準として定めるようになってくるといえる。

(鉄筋)コンクリート構造物工事の代表的なものとしては、コンクリートダム工事、高架橋工事、地下鉄工事などをあげることができる。図－3.3は、コンクリートダム工事における施工ユニットの作業構成を示したものである。ダム構造

(施工ユニットの構築)

物全体は、水平方向のコンクリートの打ち継目と鉛直方向のコンクリートの打ち継目によって区画される施工ユニットを施工単位として構築されていく。各施工



図－3.3 コンクリートダム工事における  
各施工ユニットの施工順序

ユニットの規模は、コンクリート打設リフト、スライド型枠寸法、コンクリート打設量等にもとづいて定める。各施工ユニットの施工は図－3.3に示した作業順序を繰り返しながら進められることになる。ダム構造物本体は各施工ブロックごとに順次基礎岩盤から立ち上っていくのであるが、コンクリート打設作業にともなう技術的な制約、洪水対策と関連する各施工ユニット間の打設優先順位、グラウチングや付帯設備等の工事との関係などを考慮して各施工ユニットのスケジュールを求めることになる。コンクリートダム工事では、各施工ブロックに1セットの型枠を割り当て、それを順次上方の施工ユニットにスライドさせていくことになるので、工事全体の構造物構築のスケジュールはコンクリート打設能力に主として支配されることになる。これに対して、一般の鉄筋コンクリート工事では鉄筋材料や型枠支保工やその他の作業足場を必要とし、通常の場合、施工箇所数より型枠材の投入セット数や作業グループの投入数の方が少いために、それらの運用順序によって工事全体の構築のスケ

ジュールが定まることになる。

しかしながら、いずれにおいても施工ユニットレベルの構築スケジュールを求めることによって工事全体の総括的なスケジュールが定められ、同時に主要な工事用資源の運用スケジュールも決められることになる。

なお、鋼構造物工事については、構造物本体を工場生産して工事現場においては土構造物やコンクリート構造物の基礎工事あるいは下部工事を行ったのちの上部構造物としての組立て作業のみを行うというように、施工対象が限られており、特に考察は加えないことにする。

以上の考察からわかるように、施工ユニットの設定基準に関しては、（鉄筋）コンクリート構造物工事ではコンクリート打設区画がそのまま施工ユニットを構成しコンクリート打設数量を基準として型枠材組立て作業や鉄筋組立て作業などの他の作業の作業特性値が定められるのに対して、土構造物工事での施工ユニットは原地形と計画地形とで形成される施工空間の中に物理的な施工区画としては存在せず工事全体のスケジュールを定量的に表し工事の施工管理目標を設定するために便宜的に設けるものであるといえる。しかしながら、物理的な施工単位であれ便宜的に設けた施工単位であれ、何らかの基準のもとに設定することにより施工計画作成や工程計画作成における基本的な計画単位として用いられることになる。一般的には、施工ユニットは構造物の構築を安全にかつ十分な品質と施工精度でもって行うにあたって、もっとも経済的な規模とすることが望ましいといえる。したがって、施工ユニットの最適規模は土木材料の発達や施工方法の合理化とともに変化するものであり、構造物の形式や施工条件や施工環境によっても異なるものとなる。実際には、工事の施工仕様等種々の制約があってそれらの範囲内で許容される規模を過去の施工経験をもとに決定しているのが実情である。

このようにしてすべての施工ユニットが設定されると、工事に投入されるすべての工事用資源の種類、規格、寸法、数量を各施工ユニットを基準として詳細にかつ細大もらさず算出するとともに、各工種および各作業の作業特性値を各施工ユニットの規模に対するものとして求めることになる。これらに関してはすでに第2章において述べたとおりである。

### 3. 工程計画代替案評価のプロセス

工程計画の各代替案は、本設工事および仮設工事の計画諸元を立案する過程で施工技術上の課題に関する評価が既に行われているので、この段階においては、主として工事計画・管理的側面に関する評価が行われることになる。

工事計画・管理に関わる評価要素としては、

- ① 迅速性、
- ② 経済性、
- ③ 管理のしやすさ、

④ 施工のしやすさ，  
などをあげることができる<sup>6)</sup>。

(1) 迅速性は工事所要期間に関する評価要素であるが，土木工事の場合，工期が指定されているので，工程計画代替案に対する第一義的な制約として作用することになる。総括工程計画は各工事，各工種の施工方法代替案ごとに作成されるので，それぞれの工事に対する工事期間の配分は工事全体のバランスという観点から定めなければならないことになる。通常の場合は，各工事の規模に対して標準的であると思われる工事期間を過去の施工経験にもとづいて設定し，それを当初の計画目標として工程計画を作成していくという方法が取られる。工事全体の指定工期の制約に対しては，各工事の所要期間の総和を求め，それが指定工期を超過する場合には各工事の所要期間をその長さに応じて短縮するように計画を修正するか，もしくは所要期間の短縮が比較的容易な工事から逐次計画を修正するかのいずれかの方法で対処することができる。

(2) 経済性は施工方法の選定や工程計画の作成に追従して算出・評価されるものであり，第一義的には工事施工の技術的問題点を有効に解決するものとして提案される施工方法代替案を評価・選定するときに考慮される。したがって，工程計画作成にあたっての経済性の評価は，それぞれの施工方法代替案を実施工に適用するときの各種工事用資源の必要数量，それを満す調達数量，および使用効率，さらには単価等に関して行うことになる。

(3) 管理のしやすさとは多数の計画・管理要素の中で工事施工の管理目標の達成度を定量的に評価することのできる要素を抽出し，実施工に際してはそれらの要素を意図的に操作することによって効果的に管理目標を達成することを意味している。通常，そうした計画・管理要素としては次のような工事計画・管理上の重要度の大きい工事用資源を取り上げるとよいであろう。

- ① その資源の調達・運用費用が全体の工事費の中で占める比率の大きい資源種類。
- ② 必要数量が多くて，しかも資源の調達・運用に対する制約の厳しい資源種類。
- ③ その資源の運用計画の良否が直接的に工程計画内容の良否を支配する資源種類。

工事着工当初の総括工程計画の作成段階において，これらの工事用資源の投入数量と運用順序に関して工事の迅速性・経済性および管理のしやすさという観点から評価することによって，工事の施工方針と工事計画の枠組みを確立することができる。

また，さらに詳細に評価していく場合には，

- ① 各種工事用資源の調達数量の水準，
- ② 資源使用効率（調達数量－使用数量），
- ③ 機械および仮設資材の各セットの転用回数，

に関して定量的な評価を行うとともに，ネットワーク表示された工程計画に対しては，第4章で詳述するように，

- ④ クリティカル・パスの性状，
- ⑤ 山積み・山崩し図の形状，
- ⑥ 先行作業や後続作業との連続性の確保，
- ⑦ 隣接施工ブロックの作業状況，

などについて、迅速性・経済性・管理のしやすさの評価を行うことになる。上記の評価項目の中で、先行作業や後続作業との連続性は長期間の放置による構造物品質の低下を防止したり、資源の運用管理を円滑に行う必要から要求されるものである。また、隣接施工ブロックの作業状況によっては、当該施工ブロックの作業のため新たな作業足場を必要とする場合がある。こうした工程は迅速性や経済性においても望ましくないばかりか、工事施工が困難となって作業の安全性においても望ましくないものとなる。さらに、仮設資材の組立・解体・転用という一連のサイクルのもとでの資材の遊休状態も工程計画の良否を判断するうえで重要なことである。

#### 4. 総括工程計画における評価要素<sup>7)</sup>

本研究においては、工事施工上の制約に選択の余地の多い総括工程計画の作成にあたって考慮すべき制約と評価要素を以下のように取りまとめて整理することにした。

##### 4.1 工程計画の作成において考慮すべき制約

- (1) 工事の先行・後続関係にもとづく工程上の制約
  - 1) 当該工事の全体工程に許容される工期  $T_g$ 。
  - 2) 隣接工区および各施工ブロックの着手可能期日  $T_s^i$ ，完了指定期日  $T_e^i$ 。
- (2) 工事用資源の投入数量に関わる制約
  - 1) 仮設資材，機械系および作業グループの投入可能セット数の上限値  $r_a^k$ ，および下限値  $r_b^k$ ，ただし、添字  $k$  は資源種類を示す。
  - 2) 職種別作業員および本設材料の1日当たり投入可能数量の上限値  $r_a^m$ ，および下限値  $r_b^m$ ，ただし、添字  $m$  は資源種類を示す。
- (3) 仮設資材の転用順序に関わる制約
  - 1) 各施工ブロックの構造物部位（施工ユニット）間の技術的な順序関係。
  - 2) 仮設資材の転用経路途中における作業障害。
- (4) 作業の実施可能性に関連する制約
  - 1) 当該施工ユニットの作業空間の確保に影響する先行の施工ユニットおよび隣接施工ブロックの施工状況。
  - 2) 当該施工ユニットの施工のための資機材占有空間の確保。



## 4.2 工程計画作成における評価要素

### (1) 工事用資源の投入セット数 $r^k$

工事期間の制約  $T_g$ 、 $T_s^i$  および  $T_e^i$  を満足する工程計画代替案の中で全体工程の経済性を最大化する各種工事用資源の投入セット数であり、期間ごとに投入数が異なる場合は延投入数を用いることができる。

### (2) 工事用資源の運用順序

全体工程の経済性を最大化すると考えられる工程計画代替案に対して、仮設資材の転用費用、すなわち仮設資材の転用距離を最小化する運用順序を考慮することができる。また、各種工事用資源セットの個々に着目するときには、それぞれが分担する施工数量もしくは転用回数が平準化されていることが望ましい。

### (3) 工事用資源の運用効率

各種工事用資源の投入セット数とそれぞれのセットの運用順序に対して、全体工程の中での各種工事用資源の遊休状況や余剰数について調べてそれぞれの運用効率（（調達延セット数－必要延セット数）／調達延セット数）を求めておく必要がある。

総括工程計画の作成は、当該工事の工程に関わる上記の諸制約を調査するとともに、それらの制約条件のもとに作成される工程計画代替案に対して上に述べた種々の評価側面から比較・検討し、その中から工事の運営・管理上もっとも望ましい案を選択することになる。

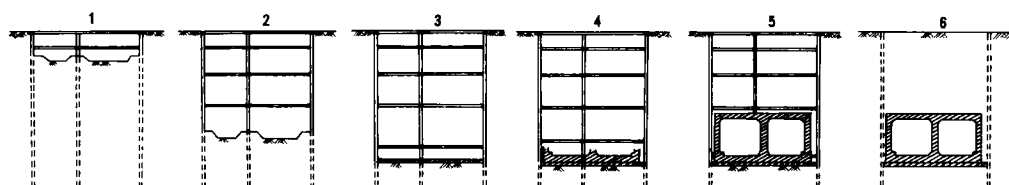
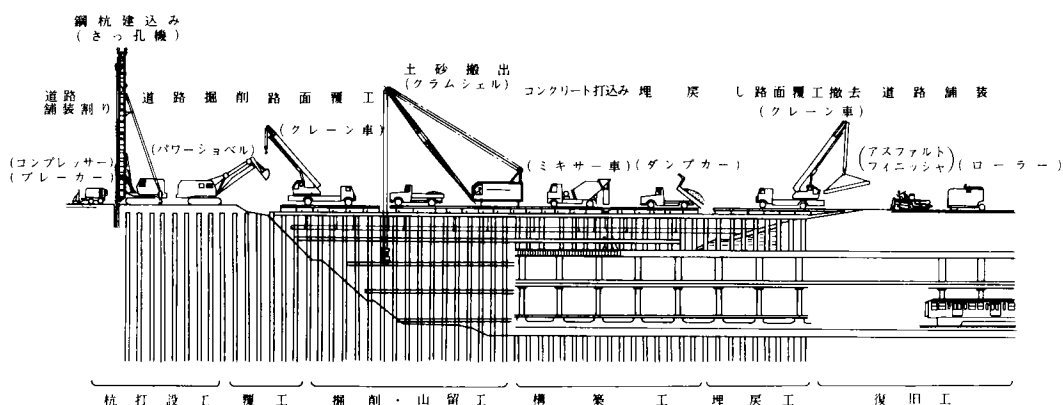
以上のような総括工程計画の作成と評価に関する基本的な考え方にもとづいて総括工程計画作成法の確立を図るのであるが、本研究における実証的な適用対象工事として取上げる地下鉄工事の概要を示し、その総括工程計画作成法に関する課題について述べることにする。

## 第3節 地下鉄工事における総括工程計画モデルの作成方法

### 1. 地下鉄工事における総括工程計画の作成プロセス

すでに述べたように、ここでは地下鉄工事を取り上げ、その中の主要工事である掘削工事と構築工事の総括工程計画モデルを作成することにより、地下鉄工事の総括工程計画作成法について考察する。

開削工法による地下鉄工事は一般に、図－3.4に示すような施工プロセスで行なわれる。すなわちこの工法では、本体構造物の基礎底面まで地表面からオープンカットで掘削していき、基礎底面まで掘削工事の完了した区間から順次本体構造物を構築して最後に構造物の上部を埋戻して工事が完了することになる。市街地工事の場合、工事現場の作業空間が横断道路を確保するために、掘削工事に先立って土留め杭を打設し覆工板を敷設することになる。そして、掘削工事の進行にともなって土留め



図－3.4 地下鉄開削工事の施工プロセス

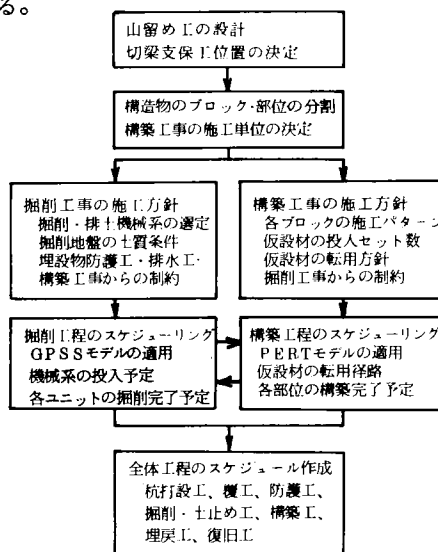
支保工を架設することによって土留め壁を保護し作業空間を確保するのである。

掘削工事と本体構築工事の施工期間を合せると全体工期の60～80％を占め、また、工事費用の面においてはそれ以上の比重を占めるといっても過言ではない。また、本体構築工事は地下鉄構造物の基礎底面まで掘削が完了したブロックから順次施工していくことになるので、掘削工事と構築工事は施工空間と施工期間の両面において密接な関係を有していることがわかる。したがって、それぞれの工事の総括工程計画を作成するにあたっては、単位工程の設定や施工順序の決定に関して施工空間と施工期間の両面において両者の対応関係を考慮する必要がある。

一般に、地下鉄工事の工程計画は、図－2.7に示した座標式工程表を用いて工事全体のスケジュールを表す場合が多い。座標式工程表では、構築工事は各施工ブロックごとの施工期間を明示する以外には、他の工事については施工速度と施工方向を示す直線で表示する程度の概略的なスケジュールしか表されていない。とくに、掘削工事は不確定要素が多く、工程調整が他工事に比して比較的行いやすいことから、そうした施工速度の表示や施工方向の表示すら示されていない場合も少なくない。しかしながら、最近の土木工事、とくに市街地工事においては、工事施工に対する諸規則や諸条件の制約が厳しいうえに実質的には工期短縮化の傾向にある。このために、少なくとも掘削工事と構築工事の主要工事に関しては、工事の施工内容と対応して工程計画の内容を分析的に評価して、もっとも効果的

に工程短縮を図るにはどの工程要素をどのように操作すればよいかを定量的に表現することのできる工程計画手法の導入が必要とされるようになってきている。

図－3.5は、こうした観点に立って、地下鉄工事の総括工程計画に対する本研究の基本的な考えをとりまとめて示したものである。すなわち、掘削工事と構築工事の単位工程は構築工事における施工ユニットを基準としてそれぞれのモデルを設定している。掘削工事においては掘削機械系の稼働状況をよく表すことができるように離散型汎用言語 GPSS によるシミュレーションモデルを開発し、構築工事においては施工ユニットの施工期間とほぼ対応して拘束期間が定められる型枠材の転用計画を作成するのに便利のようにプレシーデンス型ネットワークを用いている。そして、それぞれの工程モデルを用いてのスケジューリングに



図－3.5 地下鉄工事における総括工程計画の作成プロセス

あたっては互いに他の工事の施工方針を工程上の制約条件として与えていること、など総括工程計画の作成にあたって考慮すべき事項とスケジューリングの方法を要約して示している。

このように、掘削工事と構築工事の総括工程計画が分析的に表示されるならば、他の工事、すなわち、土留め杭打設工、路面覆工、各種防護工、埋戻し工、復旧工などは比較的容易に所要期間を見積ることができる。土留め支保工は掘削工事の中で、また、防水工は構築工事の中ですでに検討されているので、工事全体のスケジュールと施工方針が確立されることになる。こうした主要工事を中心として工事全体の工程計画を分析的に表していくという方法は他の工事種類においても有効であることはもちろんのことといえよう。

## 2. 総括工程計画における施工ユニットの分割基準

### 2.1. 構築工事における施工ユニットの設定<sup>8)</sup>

コンクリート構造物工事は、最終的には一体化されたコンクリート構造物を構築するものであるが施工途中には横断方向、縦断方向、水平方向に適切な施工継目を設定して、図－3.6のように、いくつかの施工区画に分割して施工するのが普通である。構造物を水平面で捉えたとき横断方向および縦断方向の施工継目で区画されるものが施工ブロックであり、構造物を横断面で捉えたとき水平方向の施工継目で区画されるものが構造物部位であることはすでに述べたとおりである。施工ブロックと構

造物部位で区分される区画が施工ユニットであり、構造物レベルの施工単位となることについてすでに述べた。

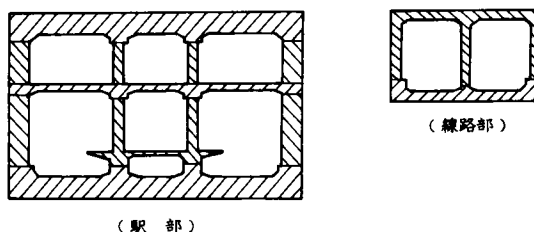
施工ブロックの設定には特に明確な基準は設けられていないが、上載構造物の施工区画、隣接構造物との関連性、本体構造物の形状、地盤条件、仮設構造物の安全性、コンクリート打設量、作業空間の確保など、施工技術的側面からの制約を総合的に検討するとともに、類似工事の施工例をも参照してはば経験的に決定されることが多い。しかし、施工ブロックのスケールの大小

は仮設資材や機械の運用と密接に関連していて、工事施工の経済性に影響するので、構造物の力学的安全性と施工の工学的合理性を満足する範囲内でできるかぎり大きいスケールの施工ブロックを設定することが望ましいといえる。

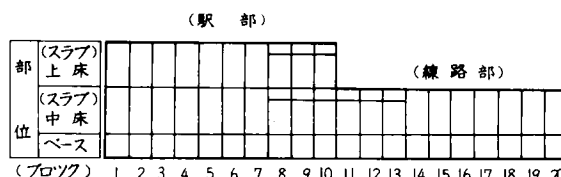
本体構造物の施工を横断面からみると水平面方向の施工継目で構造物部位に分割されている。施工継目は構造物の弱点となるので、できるかぎり設けないで全断面を一回のコンクリート打設で施工するのが望ましい。したがって、構造物の断面形状、施工方法、鉄筋組立て作業、型枠支保工や型枠の組立て作業、土止め支保工の盛替え、コンクリート打設量等の制約から構造物の安全性に影響しない範囲で施工継目を設けることになる。

このようにして設定される各施工ユニットは、図－3.7に示すように、型枠材（型枠支保工および型枠）の拘束期間と各施工ユニットの構築所要期間とははば対応しており、各施工ユニットのスケジュールと型枠材の運用スケジュールとは対応して求められることがわかる。

(a) 構造物部位による分割



(b) 施工ブロックと構造物部位による構造物の分割



図－3.6 構造物の施工ユニットへの分割

○パターンⅠ（ベース、柱）

鉄筋組立	型枠組立	コンクリート打設・養生	型枠解体
------	------	-------------	------

○パターンⅡ（壁）

外型枠組立	鉄筋組立	内型枠組立	コンクリート打設・養生	型枠解体
-------	------	-------	-------------	------

○パターンⅢ（中床スラブ、上床スラブ）

支保工組立	型枠組立	鉄筋組立	型枠組立	コンクリート打設・養生	型枠支保工解体
-------	------	------	------	-------------	---------

○パターンⅣ（壁スラブ同時施工）

外型枠組立	鉄筋組立	内型枠組立	支保工組立	型枠組立	鉄筋組立	型枠組立	コンクリート打設・養生	型枠支保工解体
-------	------	-------	-------	------	------	------	-------------	---------

図－3.7 各種の施工ユニットにおける作業内容の構成（地下鉄工事の例）

## 2.2 掘削工事の施工ユニットの設定<sup>9)</sup>

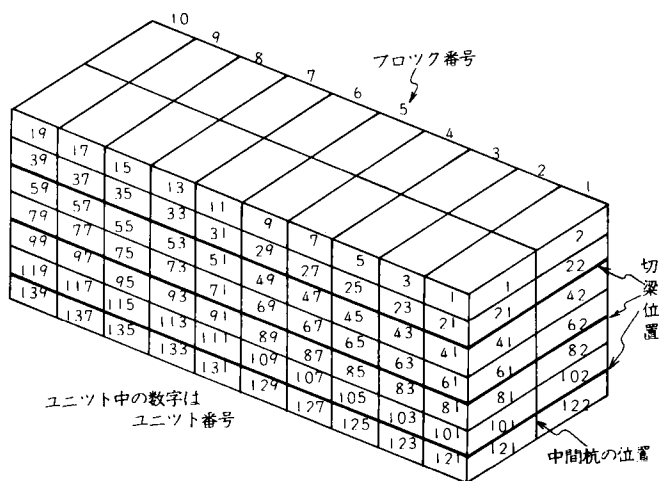
開削工法による掘削工事を行うにあたって、地盤の土質、土留め杭・中間杭の位置、切梁支保工の位置、地下埋設物の配置、掘削機械系の稼働性、後続する構築工事の施工ブロックの区画などの諸条件によって、掘削対象地盤はある規模の施工単位に区分されることができる。すなわち、地下鉄工事における掘削工事は土留め杭と切ばり支保工で周辺地盤が支持される作業空間を確保することがその目的であり、構造物基礎を構築する掘削地盤の最下面では構築工事における施工ブロックと対応する作業空間が確保されていなければならない。掘削対象地盤の路線方向については、構築工事における施工ブロックとの対応に加えて、掘削機械系の施工能力がもっとも能率よく発揮できるように施工単位の規模を設定することが望ましい。また、深さ方向については、土留め計画にもとづいて架設される切ばり支保工の位置と掘削面を安全に保持するために一時的に設ける掘削ステージによって区分されるとみなすことができる。さらに、横断方向については、中間杭の位置によって掘削対象地盤が分断されているときは、掘削工事の施工単位の設定に影響することになる。

以上の考察から、掘削工事においても、構築工事における施工継目のように明確な施工単位ではないが、路線方向の構築工事の施工ブロックと対応して仮想的に設定する分割面、切梁支保工および土質条件によって区画される深さ方向の分割面、中間杭による横断方向の分割面によって、図－3.8にモデル化して示すようなある

規模の容積に区分して施工するものと考えることができる。

この掘削対象地盤のユニット分割モデルは後述の機械系選定のために用いており、図中のユニット番号はそのために付したものである。ここで、路線方向の分割面は図に示すような垂直面として掘削されることはほとんどないであろ

うが、各施工ユニットにおけ



図－3.8 掘削工事における施工ユニットの設定方法

る垂直の分割面と実際の掘削法面とで挟まれる部分の出入りの土量が等しくなるように仮想の分割面を設定するとみなすことによって、この点の問題は解消されるものとする。

## 2.3 総括工程計画における単位工程のモデル化

### (1) 掘削工事の単位工程モデル<sup>10.)</sup>

親杭横矢板方式の開削工法では、掘削押土・排土積込み・搬出捨土という一連の処理による掘削作業、掘削完了した地山部分の土留めのための木矢板組立て作業および1施工ユニット分の掘削作業完了後に行う切梁支保工の架設作業をサイクリックに繰返すことによって、掘削工事を進めることになる。これらの諸作業の間の詳細な動きについては後述することとするが、これらの諸作業の中で木矢板組立て作業や切梁支保工の架設作業は掘削対象地盤の土質や掘削土量に関係なくほぼ一定の日数で処理されることになる。つまり、掘削工事の支配的な作業は掘削作業であり、各施工ユニットの所要日数は掘削作業の所要日数に木矢板組立て作業と切梁支保工の架設作業に要する1～2日間を加えておけばよいことになる。

開削工法の掘削方式には種々のものがあるが、その代表的な方法はブルドーザやトラクターショベルによる掘削押土、クラムシェルバケットによる排土積込み、ダンプトラックによる搬出捨土を組合せて行う方式である。

以下では、これらの組合せ作業として各施工ユニットの掘削作業を行うものとして、掘削工事の単位工程としての施工ユニットの所要日数算定法について考察することとする。

一般に、建設機械の単位時間当り施工量をその施工速度と定義すると、工事現場で実際に稼働している機械1台の施工速度の基本式は、サイクリックな作業の場合、次式で与えられる。

$$q = \frac{E_t \cdot E_q \cdot Q_R \cdot 60}{C_m} \quad (3.2)$$

ただし、 $q$ ：機械の施工速度、 $Q_R$ ：機械の標準容量、 $C_m$ ：1サイクル作業の所要時間（分）、 $E_t$ ：作業時間効率、 $E_q$ ：作業能率

実際の工事現場における機械容量を $Q (= E_q \cdot Q_R)$ とし、作業時間効率として平均作業時間効率 $E_a$ を用いると、平均施工速度 $q_a$ は、次式となる。

$$q_a = \frac{E_a \cdot Q \cdot 60}{C_m} \quad (3.3)$$

さて、当該地下鉄工事における1日稼働時間を $t$ とし、前項で明らかにした掘削工事の路線方向の分割区間を $i$ （＝構築工事の施工ブロック番号）、深さ方向の分割区間を $j$ 、横断方向の中間杭による分割区間を $k$ とすると、3つの分割面で区分される施工ユニットの掘削対象土量は $v_{ijk}$ と表すことができる。もし、中間杭による区分を無視できるときは、すべての施工ユニットは $i$ と $j$ によって2次元表示となり、その場合、掘削対象土量は $v_{ij}$ となる。

掘削作業は、図－3.9に示すように、ブルドーザによる掘削押土、クラムシェルによる排土積込み、ダンプトラックによる搬出捨土の各要素作業をサイクリックに繰返しつつ、それらの要素作業を直

列的に配列して処理されることになる。したがって、掘削作業としての施工速度  $q^E$  は、3種類の機械の中で最小の能力の機械機種に支配されるので、次式のように表すことができる。

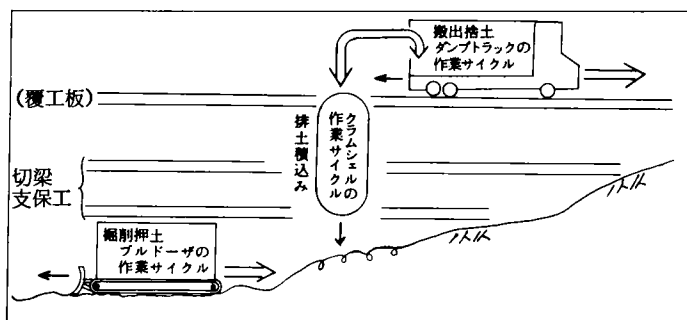


図-3.9 掘削作業における機械系の稼働状況

$$\begin{aligned}
 q^E &= \min \{ m^B \cdot q_a^B, m^C \cdot q_a^C, m^D \cdot q_a^D \} \\
 &= \min \left\{ \frac{m^B \cdot E_a^B \cdot Q^B \cdot 60}{C_m^B}, \frac{m^C \cdot E_a^C \cdot Q^C \cdot 60}{C_m^C}, \frac{m^D \cdot E_a^D \cdot Q^D \cdot 60}{C_m^D} \right\}
 \end{aligned}
 \quad (3.4)$$

ただし、添字  $B$  : ブルドーザ、添字  $C$  : クラムシェル、添字  $D$  : ダンプトラック、 $m$  : 投入台数。

式(3.4)で掘削作業の施工速度を定義するとき、掘削工事における各施工ユニット( $i, j$ )の作業所要日数  $d_{ij}^E$  を次のようにして算定することができる。

$$d_{ij}^E = v_{ij} / (q_{ij}^E \cdot t) + \Delta d_{ij} \quad (3.5)$$

ただし、 $v_{ij}$  : 施工ユニット( $i, j$ )の掘削対象土量、 $q_{ij}^E$  : 施工ユニット( $i, j$ )の掘削換算率を考慮した掘削作業の施工速度、 $t$  : 1日稼働時間、 $\Delta d_{ij}$  : 矢板組立作業および切梁支保工組立作業の所要日数。

矢板組立作業や切梁支保工の組立作業を独立した作業とみなして、掘削工程のスケジュールを作成する場合は次式とすることができる。

$$d_{ij}^E = v_{ij} / (q_{ij}^E \cdot t) \quad (3.6)$$

以上の考察は、地下鉄開削工事における掘削工事を対象として、施工ユニットの設定と所要日数の算定法について述べたものであるが、施工単位を基準として構造物の施工ユニットとの対応を取るという考え方に立つことによって他の工事種類への適用が可能となる。また、掘削工事における機械系の処理能力を算定する式(3.4)に関しても、ブルドーザ、クラムシェル、ダンプトラックに限らずサイクリックな作業を行う機械化作業である限り一般的に成立つものであり、そのような工事においてはここに示した一連の作業特性値の算定式を適用することができる。

## (2) 構築工事の単位工程モデル<sup>11)</sup>

構築工事においては、一般に工種レベルの単位作業の作業特性値がまず求められ、総括工程計画の単位工程である施工ユニットの作業特性値は単位作業の作業特性値から間接的に求めるのが普通である。ここでも、こうした方法にしたがって、総括工程計画における単位工程の所要日数算定法を示し、そのモデル化を行うことにする。

第2章においても述べたように、工程計画の基本的構成要素である工種レベルの単位作業については、式(3.7)に示すような関数関係が各作業特性値の間に存在することを認めることができる。

$$d_{ij}^k = v_{ij}^k / (w_{ij}^k \cdot m_{ij}^k) \quad (3.7)$$

すなわち、工種レベルの単位作業（施工ブロックを $i$ ，構造物部位を $j$ ，工種レベルの作業を $k$ と表す）の所要日数 $d_{ij}^k$ は、当該作業の施工数量 $v_{ij}^k$ をその作業を処理する職種の作業員（または機械）の処理能力 $w_{ij}^k$ とその作業に投入される作業グループ（または機械系）の構成数 $m_{ij}^k$ によって除したものと求められる。これらの各作業特性値については上記の説明からもわかるように施工対象工事の設計図や仮設計画を含めての施工計画や投入資源の同種工事における過去の施工実績資料等にもとづいて工事施工の作業内容に直接的に対応するものとして算出することができる。

さて、地下鉄構造物のような鉄筋コンクリート構造物工事においては、型枠組立て作業や鉄筋組立て作業のように所要日数が施工数量に比例するとみなすことのできる単位作業群と、墨出し作業やコンクリート打設作業、養生などのように所要日数が施工数量と関係なくほぼ一定の長さとなっている単位作業群がある。このように単位作業を分類するとき、式(3.7)を適用することができるのは前者の単位作業群であり、後者の単位作業群については工事施工における作業内容から必要な一定の所要日数を与えなければならないことがわかる。

各施工ユニットは構造形式と施工方法に注目することによっていくつかの施工パターンに分類され、同じ施工パターンに属する施工ユニットは同じ作業構成となっているとみなすことができる。このことを利用することによって、ここでは、総括工程計画の単位工程の所要日数算定法を以下のように簡便化することとする。すなわち、各施工パターンごとに所要日数算定の基準となる基準施工ユニットを抽出し、この基準施工ユニットを構成する単位作業の中で所要日数が施工数量に比例する単位作業群に対して式(3.7)を適用してそれぞれの所要日数を算出し、それらの所要日数の総和 $d'_{oj}$ を求める。一方、所要日数がほぼ一定の値を取るとみなされる単位作業群についてはそれぞれの所要日数を与えてそれらの総和 $\delta_{oj}$ を求める。基準施工ユニットの所要日数 $d_{oj}$ は $(d'_{oj} + \delta_{oj})$ となる。このとき、基準施工ユニットを除く他の施工ユニットの所要日数 $d_{ij}$ は次式で求めるとするのである。

$$d_{ij} = (v_{ij}/v_{oj}) \cdot d'_{oj} + \delta_{oj} \quad (3.8)$$



すなわち，所要日数が施工数量に比例する単位作業群については基準施工ユニットの施工数量  $v_{oj}$  に対する当該施工ユニットの施工数量  $v_{ij}$  の比に基準施工ユニットで求めた日数  $d'_{oj}$  を掛け，それに所要日数が一定の単位作業群の所要日数  $\delta_{oj}$  を加えて，その施工ユニットの所要日数とするのである。ここで問題となるのは，施工ユニットの施工数量として何を用いるかであるが，鉄筋コンクリート構造物工事においては各施工ユニットのコンクリート打設数量を用いるのがよいと考えられる。こ

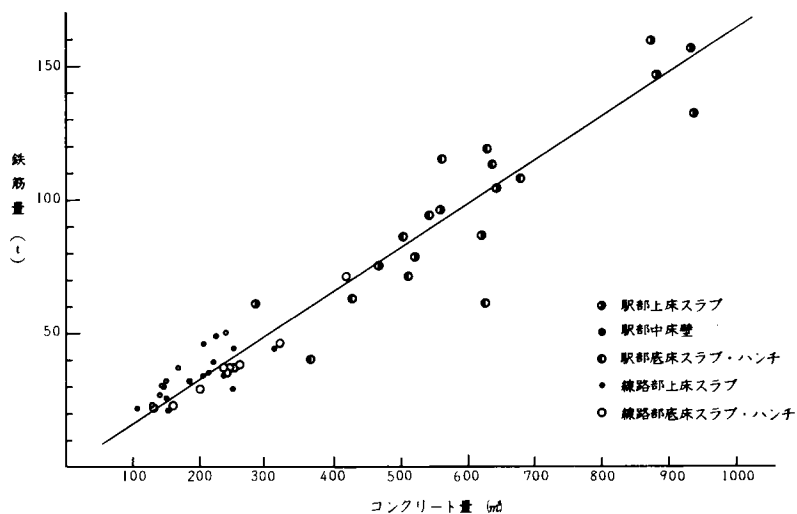


図-3.10 各施工ユニットにおける鉄筋量とコンクリート量の関係

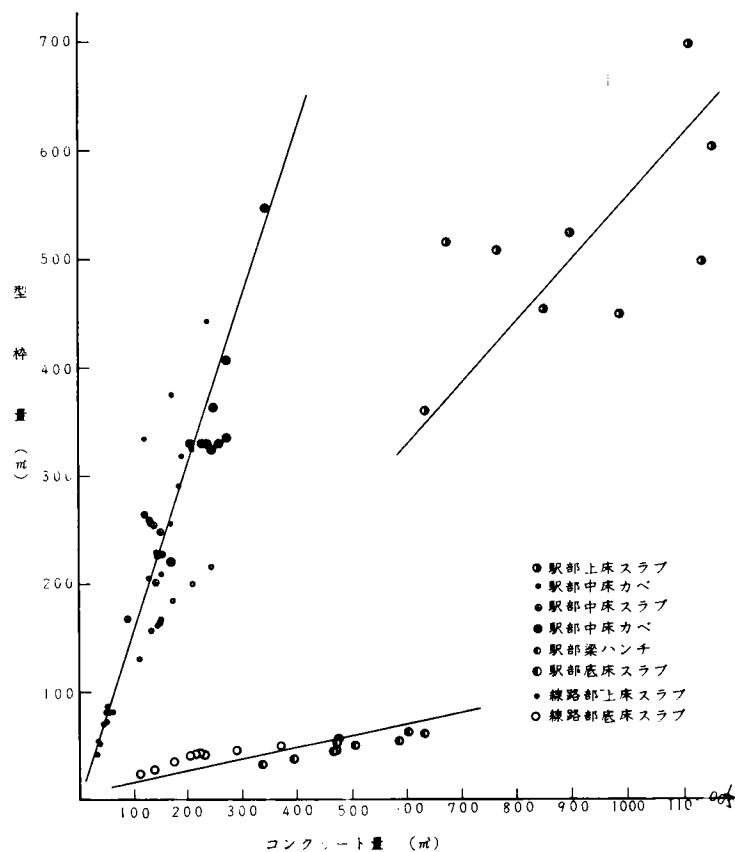


図-3.11 各施工ユニットにおける型枠数量とコンクリート量の関係

れは、図－3.10 および図－3.11 に例示するように、各施工ユニットにおける鉄筋数量や型枠材数量はコンクリート打設数量とはほぼ直線的な比例関係にあって式(3.8)の右辺の第一項が実際の工事においても大体において成り立つことがわかっているという理由によるものである。また、各施工ユニットの容積はコンクリート数量によって近似的に表され、コンクリート構造物の出来高管理はコンクリート打設の完了を基準として行われるなど、コンクリート打設数量でもって施工ユニットの施工数量の近似値とすることは工事計画・管理上に多くのメリットをもたらすこととなる。

## 第4節 シミュレーションモデルによる掘削工程計画の作成事例<sup>12)</sup>

### 1. 掘削工程計画作成における課題

地下鉄開削工事では、図－3.4 に示したように、土留め杭打設工および路面覆工の準備工を行って地表面から掘り下り基礎底面に到達した後、地下鉄構造物は基礎底面まで掘削の完了した部分から順次構築していく。そして、すべての地下鉄構造物が構築されると、その頂部を埋戻して地表面を原形に復するのである。

掘削工事は、構造物の構築工事のように作業間の技術的な順序関係や仮設資材の転用による管理的な順序関係などを事前に規定しておくべき計画要素が少いかわりに、土留め工、排水工、地下埋設物防護工等の施工技術的条件、掘削・排土・運搬等に用いる機械系の機種と投入台数、各施工ブロックの着手可能時期や構築工事の施工ブロックの着工順位等の工程上の制約条件、さらには、現場の作業時間・騒音振動・残土処理・道路交通等の規制など、施工計画・工程計画の作成にあたって考慮すべき要素の多いのが特徴的である。また、掘削工事の結果は直ちに後続の構築工事の工程に影響を及ぼすことになるので、地下鉄工事の総括工程計画の作成にあたっては、掘削工程計画と構築工程計画のそれぞれの内容を定量的に表すとともに、両者の施工上、工程上の相互の対応関係を考慮することにより、総体的にバランスの取れた計画内容とする必要がある。

こうした特徴を有する掘削工事における工程計画問題は次の2点に集約することができる。すなわち

- ① 掘削工事の所要期間および所要費用の両側面においてもっとも望ましい機械系の選定、
- ② 投入機械系の機種・台数・先行工事並びに後続の構築工事から与えられる工程上の制約のもとで、もっとも実行可能性の高い工程代替案のスケジュール作成、

である。

後に述べるように、掘削工事における機械系の稼働状況は非常に複雑な挙動を示している。それらの作業内容を表現しつつ掘削工事における上記の計画問題を定量的に解くためには、事前にしかも詳

細に作業間の順序関係を規定しなければならないPERT系手法によるよりも、システム内に用意されているクロックタイムと掘削工程の作業着手の優先順位の規則を用いてスケジュール計算を行うGPSS (General Purpose Simulation System)等の離散型シミュレーション言語によるシミュレーション手法を適用する方が都合がよい。

## 2. 動態観測にもとづく掘削工事機械稼働状況の分析

開削工法による掘削工事の場合、掘削作業に投入される機械系として、掘削押土のためのブルドーザおよびトラクターショベル、排土積み込みのための万能掘削機(クラムシェルあるいはスーパーグラブホッパー、搬出捨土のためのダンプトラックなど)がある。

以下では、メモーションカメラを用いて行った実際の地下鉄開削工事における動態観測にもとづいて、掘削工事の機械稼働状況を要約して述べることにする。

### (1) ブルドーザによる掘削押土

ブルドーザは掘削された土をクラムシェル位置あるいはホッパー位置まで押土してクラムシェルの排土作業を容易にする。ブルドーザによる掘削押土作業は切梁支保工が架設中でなく、隣接施工ユニットとの段差が許容範囲を越えないようにしつつ、各段階の支保工位置下まで掘り下る。掘削押土のサイクルタイムは、ホッパーによる排土の場合は各施工ユニットと排土位置の距離によって異なるが、クラムシェルの場合はそのつど排土位置が移動するので一定時間として取扱うことができる。

### (2) クラムシェルによる排土積み込み

ブルドーザによって掘削された土が排土位置に集積されてくると、クラムシェルは積み込みステージへのダンプトラックの到着を待ってから排土積み込み作業を行う。

クラムシェルによる排土積み込み作業の所要時間は掘削対象地盤、すなわち各施工ユニットの位置によって異なる。実測データを分析するとクラムシェルバケットの下降・上昇時間は深さの1次関数で表わされ、掘削土のつかみおよび積み込み時間は深さに関係なくある値を中心にバラツいた分布形を示している。排土積み込み作業のサイクルタイムは両者の和による変動値を用いるのがよいと思われる。

### (3) ダンプトラックによる搬出捨土

クラムシェルによるダンプトラックへの積み込みが終了すると、ダンプトラックは土捨て場まで運搬走行する。ダンプトラックの走行時間は交通事情によってかなり変動すると考えられるので、現場で採取したデータを整理して正規分布等の分布形で与える必要があろう。土捨て場から帰ってきたダンプトラックは係員の指示によって空いている積み込みステージへ進入する。

### (4) 矢板組立て作業

親杭横矢板による土留めを行う場合、掘削された地山壁面がある高さになると、その部分の壁面のH型鋼杭の間に木矢板を横にして挿入し、土留壁を構築する。一度に組立てる矢板の量は土留め地山

の安定性を考慮して定める必要がある。横矢板の挿入が終ると、再びその施工ユニットの掘削に取りかかることになる。

#### (5) 切梁支保工の架設作業

各施工ユニットの掘削面が所定の深さまで掘り下げられると、切梁支保工を架設してさらに下部の施工ユニットを掘削するための土留め壁の補強を行う。切梁支保工を架設するときの掘削面は切梁支保工架設後の掘削作業空間の確保のため、切梁支保工の架設位置下 1.00 m 程度掘り下げておくのが普通である。架設作業は 2 日間を要するが、第 1 日目は H 型鋼の吊降し、設置、ボルト締めなどの作業が行われ、この間は掘削作業ができない。第 2 日目は架設作業そのものは終了していて部材のたわみやはらみを調整するもので、掘削作業と並行して行うことができる。

### 3. 掘削工事の機械系選定におけるパラメータ

掘削工事における機械系を構成する要素としては、一般に、

- ① 機械系の機種と処理能力（ブルドーザ、クラムシェル、ダンプトラック）、
- ② 機械系の投入台数（ブルドーザ、クラムシェル、ダンプトラック）、
- ③ 施工ユニットの規模（掘削長、掘削深さ）、
- ④ 各機械系セットの掘削分担範囲と掘削順序、

を上げることができる。

ここでは、シミュレーション実施の目的を掘削工事における機械系の選定問題としており、そのような目的に沿って前項の掘削工事の作業内容を見直すことによって以下のような考え方にもとづいて機械系選定のパラメータを設定することとした。

まず、ブルドーザについては、ブルドーザとその補助機械がクラムシェルとセットとなって稼働するものとする。すなわち、ブルドーザ台数とその掘削押土能力はクラムシェルの排土能力に十分見合うものを投入する。これはクラムシェルの台数によって掘削工程が支配されることと、掘削地山の土質性状の変化と対応してブルドーザの機種編成を調整する必要があること、また、そのときの処理能力の目安をクラムシェルの処理能力におくと工程計画作成上都合よいからである。

次に、機械系各セットの掘削分担範囲の設定方法としては、①各セットの分担する施工ブロックの範囲を固定する、②掘削残土量が各セットにはば等しくなるようにスケジュール計算の時刻ごとに各セットの分担する施工ブロックを設定する、という 2 つの考え方をすることができる。機械系の選定問題を端的に把えるという考え方から、ここでは、①の方法を採用することとし、②については後述の掘削工程のスケジュール作成のためのシミュレーションモデルに適用することとする。

施工ユニット間の掘削順序の設定は、機械系各セットの掘削分担範囲の設定方法、各施工ブロックの掘削開始可能期日および掘削終了期限などの見通し、各施工ユニットの掘削深さと掘削段差の許容

条件の設定、構築工事の施工方針などによって影響を受けるが、機械系の選定という観点からは二次的な計画要素と考えられる。したがって、機械系の選定に際しては、実際の工事におけるそれらの諸条件と施工経験とから機械系各セットによる掘削順序を想定し、それを固定的に与えてよいであろう。

各施工ユニットの規模については、掘削押土機械の稼働性、掘削対象地盤の土質条件、排水方法および構築工事の施工ユニットのスケールなどを検討して定める必要があるが、機械系の選定を目的として施工ユニットのスケールを決定するには、主として土質条件と対応する掘削段差と掘削押土機械（ブルドーザ）の稼働性を考慮しておけばよい。

#### 4. 機械系選定のためのシミュレーションモデルの作成

さて、前述の掘削工事における機械稼働の作業分析から、掘削工事は掘削押土・排土積込み・搬出捨土の掘削作業、切梁架設作業、矢板組立作業によって構成されており、これらの各作業は掘削土の動きと掘削・排土のサイクリックな処理を通して相互に関連していることが明らかとなった。したがって、掘削工程の構造を記述するには掘削・排土の挙動を中心とするのが適当であろうと思われるが、機械系の選定というシミュレーションの目的に照して以下のように考えることとする。

すなわち、離散型シミュレーション言語を用いてシミュレーションモデルを記述する場合、時間の経過にしたがってモデル内を移動する単位を設定する必要がある。GPSSでは、このシミュレーションモデルを記述するプログラムを移動するものをトランザクションと呼び、*Trans*、もしくは *Tr*、と表している。ここでは、掘削工程の構造をよく記述し、機械系の選定に適切な情報を与えうるトランザクションとして、掘削・押土、排土・積み、搬出・捨土の一連の掘削作業に関してはダンプトラック1台分の掘削土量を用い、矢板組立て作業および切梁架設作業に関してはそれぞれの1施工単位を用いることにする。そして、掘削作業が各施工ユニットの4分の1だけ進行すると矢板組立て作業に取りかかり、掘削作業が切梁支保工の架設位置の施工ユニットの掘削を完了すると切梁支保工の架設作業に取りかかるものとして、掘削工事が掘削土の動きを中心として進行する状況を表すことにする。その場合、排土積込みを行うクラムシェルの時間的な動きに関しては、クラムシェルによる排土・積込み作業がブルドーザの掘削・押土作業に後続し、ダンプトラックの積込みステージへの進入後に取りかかるという制約があるので、独立したトランザクションを設定しないことにする。

上述のようにトランザクションの内容と単位を設定したのは、主としてシミュレーションモデルのプログラム化にあたっての技術的問題と計算機容量による制約を考慮したためであるが、このようにトランザクションを設定しても機械系選定のために必要な情報の内容とその精度において問題は生じないと判断したためである。

図-3.12は、こうした考察のもとに、機械系選定のためのシミュレーションモデルの内容をフロー図の形で表したものである。図中の実線はトランザクションの流れを表し、点線はシミュレーショ

ンモデルの中のトランザクションの動きに対するコントロールの方向を示している。また、ダンプトラックを表すトランザクションはトラック台数分だけ発生させて、計算過程で消滅させないようにして積込みステージと土捨場の間を往復してサイクリックに動く様子を表している。そして、図中では、トランザクションの記号として  $T_p$  を用い、トランザクションが待ち状態から解放される場合には  $Y$  で表し、トランザクションの動きをコントロールする判断を示すときには  $Y$  と  $N$  を用いて表している。

機械系選定のためのシミュレーションの実施にあたっては、縦断方向が 300 m、横断方向が 12 m、深さ方向が 14 m の掘削対象地盤を図-3.8 に示した施工ブロックと施工ユニットに分割した。各施工ユニットの掘削順序が機械系の選定に及ぼす影響はそれほど大きくはないと考えて、各ケースごとに表-3.2(a)例示

するように掘削順序をあらかじめ指定して与えることにした。掘削作業は掘削押土、排土積込み、運搬捨土の各作業をそれぞれブルドーザ、クラムシェル、ダンプトラックで処理する組合せ作業として行われる。実際の工事の動態観測によると、ブルドーザによる掘削押土は補助的な小型掘削機械を投入することから、処理能力に余裕があり、ダンプトラックの投入台数はクラムシェルの能力に合わせて決定する場合が多い。このことから、掘削作業の処理能力はクラムシェルの処理能力に等しいものと考えた。シミュレーションの計算にあたってはコンピュータ容量や計算時間を考慮してダンプトラックの積込み容量 ( $7 \text{ m}^3$ ) を作業単位としたので、クラムシェルの排土積込み時間として動態観測データから求めた表-3.2(b)を用いることにした。ここで、クラムシェルの排土積込み時間を確定値として与えているのは、確率的な変動値を与えた場合とほぼ同様の結果が得られたので作業の所要時間を確定値として与えても十分信頼できる結果が得られると判断したためである。また、クラムシェルの排土容量が  $0.6 \text{ m}^3/\text{サイクル}$  と  $0.8 \text{ m}^3/\text{サイクル}$  の場合を比較するとサイクルタイムはほぼ同じであり、計算単位である  $7 \text{ m}^3$  を処理するのに  $0.6 \text{ m}^3$  の機械で 11 サイクル、  $0.8 \text{ m}^3$  の機械で 7 サイクルであったので  $0.6 \text{ m}^3$  の排土積込み時間を  $7/11$  倍したものである。その他の矢板組立作業は掘削された部分をその日の中に処理するので、スケジュール計算には直接関係しないことになる。また、切梁架設作業は表-3.2(a)の○印を付した施工ユニットの掘削作業が終了するとその段の切梁の架設を行うものとした。切梁の架設は 1 日で行われるが、調整に 1 日を要するので、所要日数として 2 日を与

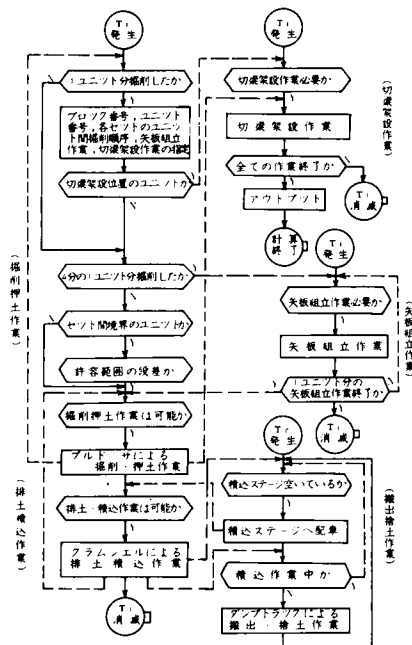


図-3.12 機械系選定におけるシミュレーションのフロー

えた。

表-3.2 シミュレーションのための  
インプットデータ

## 5. 機械系選定シミュレーション とその結果の考察

### 5.1 シミュレーションの実施方法

適用対象として取上げた工事は、第2章において述べた大阪市南部の地下鉄開削工事<sup>16)</sup>である。工事の平面図および側面図は図-2.14に示しており、機械系選定シミュレーションのための施工ブロックおよび施工ユニットへの分割は図-3.8に示したとおりである。また、掘削対象地盤の規模は前項で述べたとおりである。施工ブロックの設定は掘削機械であるブルドーザの適正稼働距離が30mであると考えて1施工ブロックの長さを30mとした。したがって、施工ブロック数を10とした。また、施工ユニットの設定については、掘削対象地盤の安定性の観点から深さ方向の段差が2mを越えないものとする必要があったので各施工ユニットの深さを2mとした。したがって、深さ方向に7施工ユニットがあることになる。

シミュレーション実施にあたっては、表-3.3に示した5つのケースを考えた。シミュレーション実施の方法としては、この表に示すように、クラムシェル<sup>16)</sup>の処理能力が0.6m<sup>3</sup>/サイクル(クラムシェルバケット容量0.6m<sup>3</sup>)の場合を中心として、

(ケース1)：クラムシェル投入台数2台の場合、

(ケース2)：クラムシェル投入台数3台の場合、

(ケース3)：クラムシェル投入台数4台の場合、

というように、クラムシェル投入台数を変えた場合の掘削作業日数や費用特性への影響を調べることにした。

#### (a) 各施工ユニットの掘削順序および切梁架設作業

		各施工ユニットの掘削順序
モ	掘削機械系1	1-2-3-4-21-22-5-6-23-24-41-42-25-26-43-44-61-62-45-46-63-64-81-82-65-66-83-84-101-102-85-86-103-104-121-22-105-106-123-24-125-28
	掘削機械系2	13-14-11-12-33-34-9-10-31-32-53-54-7-8-29-30-51-52-73-74-27-28-49-50-71-72-93-94-47-48-69-70-91-92-113-114-67-68-89-90-111-112-133-34-87-88-109-110-131-32-107-108-129-30-127-28
2	掘削機械系2	15-16-17-18-35-36-19-20-37-38-55-56-39-40-57-58-75-76-59-60-77-78-95-96-79-80-97-98-115-116-99-100-117-118-135-36-119-120-137-33-139-140

○印は切梁架設作業を行う施工ユニット

#### (b) 排土積み込み時間(7m<sup>3</sup>掘削の場合)

クラムシェル 処理能力	段	1	2	3	4	5	6	7
0.6m <sup>3</sup> /サイクル		17	20	23	25	28	31	34
0.8m <sup>3</sup> /サイクル		14	16	19	21	23	25	28

(単位：分)

表- 3.3 シミュレーション実施の方法

機械系 ケース 番 号	クラムシェル ブルドーザ ( セット )	クラムシェルの能力 ( $\text{m}^3/\text{サイクル}$ )	各クラムシェルの掘削分担ブロック番号				ダンプトラックの投入台数
			第1 セット	第2 セット	第3 セット	第4 セット	
1	2	0.6	1, 2, 3, 4, 5	6, 7, 8, 9, 10			10, 11, 12, 13, 14, 15, 16
2	3	0.6	1, 2, 3, 4	5, 6, 7	8, 9, 10		同 上
2'	3	0.8	1, 2, 3, 4	5, 6, 7	8, 9, 10		同 上
2''	3	0.6	1, 2, 3	4, 5, 6, 7	8, 9, 10		同 上
3	4	0.6	1, 2, 3	4, 5	6, 7	8, 9, 10	10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18

次に、クラムシェルの投入台数を3台とする場合に、次の2ケースについて検討することとした。

( ケース 2' ) : クラムシェルの処理能力を  $0.8 \text{ m}^3/\text{サイクル}$  とする場合、

( ケース 2'' ) : クラムシェルの処理能力は  $0.6 \text{ m}^3/\text{サイクル}$  のままで、クラムシェル各セットの掘削分担ブロックを変えた場合。

それぞれのケースにおいて、クラムシェル1台当り2台のブルドーザ (*D30P* および *D30S* ) を投入するものとする。そして、各ケースに対してダンプトラックの投入台数が13台の場合を中心として前後に変化させることにより、掘削作業日数と費用特性の推移状況を分析することとした。ダンプトラック13台は掘削工事の許容期間を6ヶ月として各ダンプトラックが4サイクル/日の運搬捨土をするものとして求めたものである。ただし、( ケース 3 ) の場合についてはクラムシェルの処理能力が  $0.8 \text{ m}^3/\text{サイクル}$  であるので10台から18台まで変化させることとした。

以上の5ケースについてシミュレーションを実施することとし、その結果を掘削作業日数、掘削機械系の費用特性、クラムシェルの稼働特性およびダンプトラックの待ち台数等について分析することにより、もっとも望ましい機械系を選定することとした。

さて、シミュレーションの評価要素である掘削作業日数については最初の施工ユニットの掘削開始日から最後の施工ユニットの掘削完了日までの所要日数によって求められる。一方、掘削機械系の所要費用の算定方法としては、( クラムシェル1台とブルドーザ2台 ) の各セットとも最初に着手する施工ユニットと最後に完了すべき施工ユニットがわかっているので、その間の所要日数をそれぞれの機械系の供用日数としてそれにそれぞれの機械機種の供用日当り使用損料を乗じて掘削機械系の所要費用を求めることにした。また、ダンプトラックについては、11 tonダンプトラックが1回当り  $7 \text{ m}^3$  運搬するものとして、最初の運搬から最後の運搬までの所要日数を求め、それに1日当り使用損料相当額を乗じて所要費用を求めることとした。したがって、機械系全体の費用はクラムシェルとブルドーザとダンプトラックの各所要費用の総和ということとなる。本シミュレーションでは、計算時間の単位



を分としているので、掘削作業日数や各種機械の拘束日数を求めるために、1日の実働時間を8時間として分単位に求められた所要時間を日数に変換することにした。

以下において、これらのシミュレーションの結果について考察することとする。

## 5.2 掘削工事における作業日数と機械系費用の関係

図-3.13はダンプトラック台数を固定してクラムシェルとブルドーザのセット数を変化させてそれぞれの作業日数と機械系費用の関係を示したものである。これより、ダンプトラックが13台まではクラムシェルとブルドーザの投入数は3セットとするのがよいが、掘削工事の所要日数を140日より短くさせたい場合にはクラムシェルとブルドーザを4セットとしダンプトラックは14台以上投入する必要のあることがわかる。

図-3.14 および図-3.15はトラック台数と作業日数および機械系費用の関係を示したものである。図-3.14より、各クラムシェルの掘削分担範囲を変えてもほとんど作業日数は変わらないこと、クラムシェルの処理能力を $0.6 \text{ m}^3/\text{サイクル}$ から $0.8 \text{ m}^3/\text{サイクル}$ に上げることは $0.6 \text{ m}^3$ の処理能力を持つクラムシェル1台と掘削押土のためのブルドーザ1セットを新たに投入するのと同じ短縮効果のあることがわかる。しかしながら、機械系費用との関係からみると、図-3.15に示すように、同じ日程短縮効果を得るためにはクラムシェルとブルドーザの投入セット数を増加させるよりもクラムシェルの排土積込み能力を上げることの方がより経済的であることがわかる。

以上のことをとりまとめるために、機械系費用を縦軸に掘削作業日数を横軸に取って各ケースごとにプロットしたものが図-3.16である。これをみると、トラック台数をパラメータとすることによって掘削作業日数と機械系費用との間には明瞭なトレードオフの関係の存在していることがわかる。そして、各ケースの相違も明確に区分されていて、(ケース2')が費用的にも日数的にもっとも有利であり、最適値はトラック台数を15台投入するときであることがわかる。しかし、実際の工事においては $0.8 \text{ m}^3/\text{サイクル}$ の処理能力のクラムシェルよりも $0.6 \text{ m}^3/\text{サイクル}$ の処理能力のクラムシェルの方が標準のタイプで、一般には調達しやすいというのが実情であり、現実にはこのことを考慮しておく必要があろう。

## 5.3 クラムシェルの稼働率とダンプトラックの待ち時間分布

シミュレーションの結果にもとづいてダンプトラックの投入台数とクラムシェル各セットの稼働率の関係を示すと、図-3.17 (1)~(3)のようである。これをみると、各クラムシェルの分担する施工ユニットの数が異なる場合、稼働率の低いクラムシェルが出てきており、各機械系の日当り処理能力に対する施工数量の比が等しくなるようにすることが各機械系の稼働率を向上させる一要素となることを示唆しているといえよう。

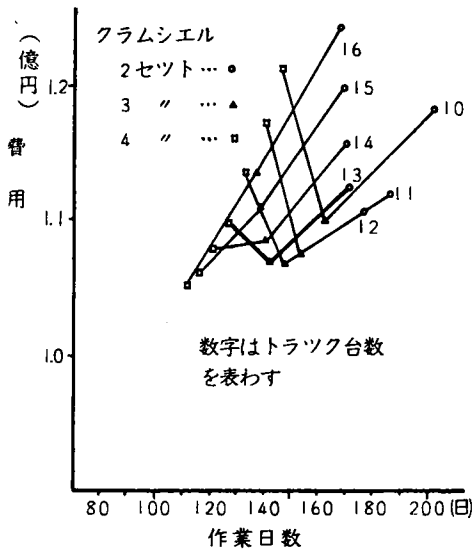


図- 3.13 作業日数と費用の関係 (パラメーター: クラムシェルセット数)

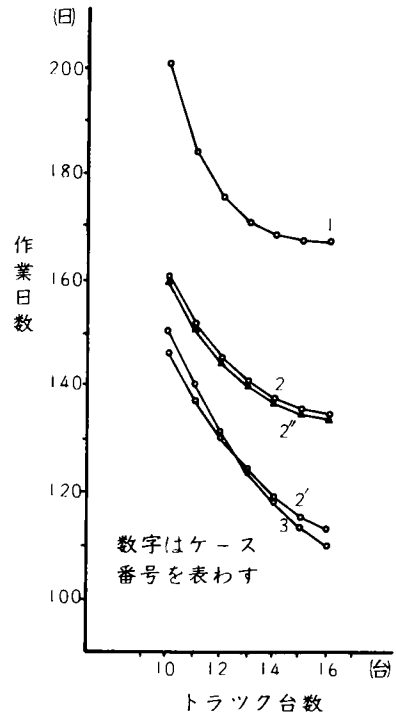


図- 3.14 トラツク台数と作業日数の関係

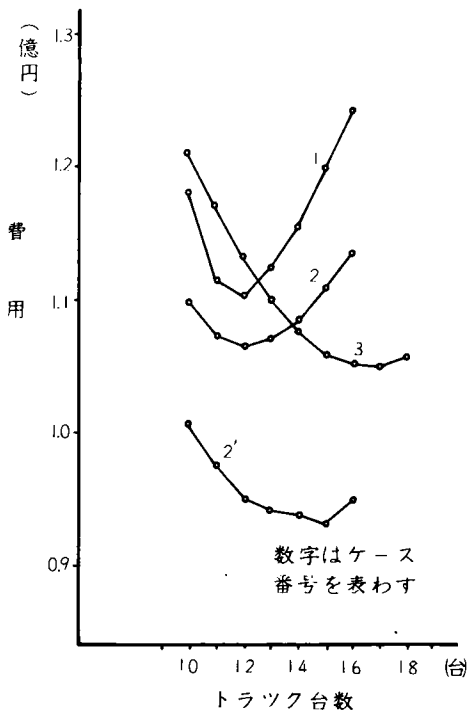


図- 3.15 トラツク台数と機械系費用の関係

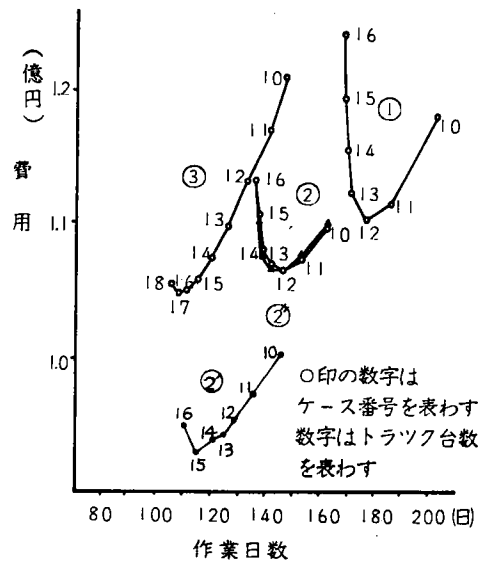


図- 3.16 作業日数と費用のトレードオフの関係 (パラメータ: トラツク台数)

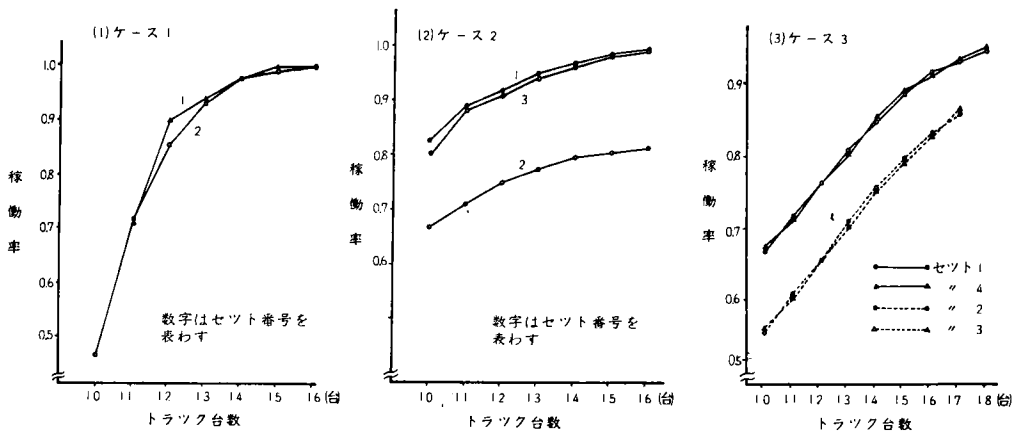


図- 3.17 トラック台数によるクラムシェル稼働率の推移

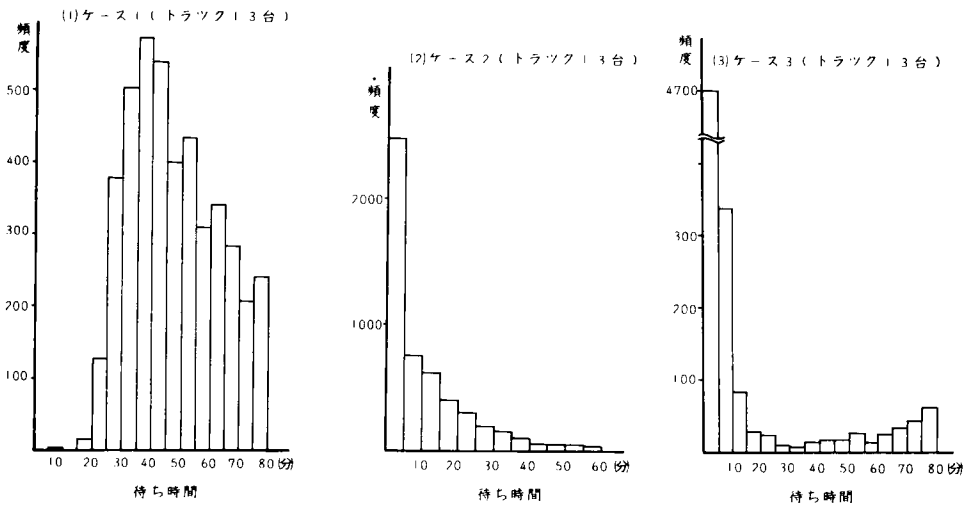


図- 3.18 トラックの待ち時間分布

また、ダンプトラック 13 台の場合について、各ケースのダンプトラックの待ち時間分布を求めたものが図- 3.18 (1)~(3)である。これをみると、( ケース 1 ) では積込みステージにくるすべてのダンプトラックに待ち時間があり、( ケース 2 ) では逆に待ち時間のないダンプトラックの頻度が多くなり指数形のような分布形となっている。クラムシェルを 4 セット投入する( ケース 3 ) の場合を詳細に調べてみると、ダンプトラックはほとんど待ち時間がなくて積込み作業にかかっているが、各セットの間の段差許容条件を満たさないためや切梁支保工の架設中のために掘削作業が中断すると、待ち時間を生じる場合のあることがわかった。

## 6. 掘削工程のスケジュール作成のための施工ユニットの設定

### 6.1 施工ユニットの分割基準

掘削工程計画作成の目的が、地下鉄構造物本体の構築工事を指定された工事期間内に完了させるように、掘削工程を定量化してその日程を明らかにさせるところにあるとすると、掘削工程のスケジュール作成は後続の構築工事の工程計画と明確に対応するものでなければならない。こうした観点に立つとき、掘削工程のスケジュール作成のために用いられる施工ユニットは、もしその長さが投入される掘削押土機械の稼働距離としても適切であるならば、構築工事の施工ブロックの分割区分を掘削工事の施工ブロックの区分として用いるのが望ましい。逆にそのような施工ブロックの設定に見合う掘削押土機械を投入すると考えることができる。

また、この段階では掘削対象地盤の土質条件はより詳細に把握されているのであろうから、各施工ユニットの掘削深さをより実際にマッチするように修正する必要がある。横断方向は中間杭等で分割された形で施工されるが、切梁支保工の架設に際しては分割されている区間の掘削面は等しくする必要がある。したがって、土質条件が良くて深さ方向の施工ユニットの区分を各段の切梁支保工の架設位置と対応させるならば、機械系選定にあたって設定した3次元の施工ユニット分割ではなく、構築工事における施工ブロック番号と切梁支保工の架設位置とはほぼ対応する掘削段階番号との組合せによる2次元の施工ユニット分割とすることができる。つまり、切梁支保工の架設とはほぼ対応する掘削段階番号を  $j$  とし、構築工事の施工ブロック番号を  $i$  とすると、掘削工事における任意の施工ユニットは  $i$  と  $j$  の組合せによって、マトリクス  $(i, j)$  の形で表すことができる。

### 6.2 掘削順序の設定

掘削工事における施工順序の設定にあたっての施工技術的側面からの制約条件としては、掘削地山の安定性を保つための隣り合う施工ユニット間の掘削段差のみを考慮すればよい。これを掘削工程における技術的な順序関係と定義すると、それは次のように表すことができる。つまり、隣り合う施工ユニットは1施工ユニット分の深さまでその掘削段差が許容されるという条件は、「ある施工ユニットは、同じ施工ブロックの直上の施工ユニットの掘削と切梁支保工の架設が完了し、左右両隣りの施工ブロックの1段上の施工ユニットの掘削が完了していると、掘削可能な状態にある」と表現することができる。ただし、工区境いの施工ブロックで片側に土留め壁がある場合は他方の施工ブロックの掘削条件のみを考慮すればよい。

掘削工事における施工ユニット分割を、施工ブロック  $i$  と掘削ステップ  $j$  とによるマトリクス  $(i, j)$  で表し、上述の掘削段差の許容条件にもとづく各施工ユニット間の掘削順序を矢線で示すと図-3.19のように表すことができる。もし、局所的に軟弱な地盤が存在する場合には、その部分の掘削

段差の許容条件を満足するように、すなわち、掘削面の安定性が増すように矢線を付すればよい。

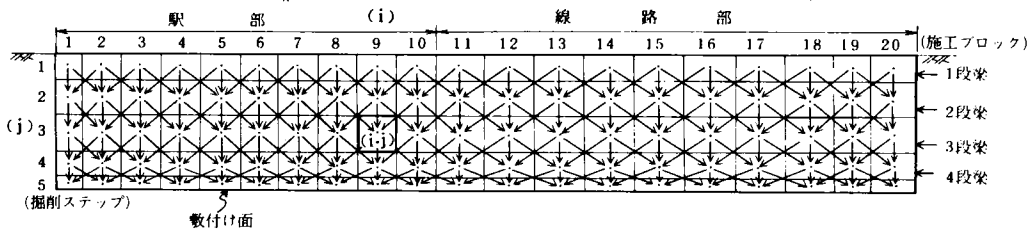


図- 3.19 掘削工程のスケジュール作成のための  
ユニット分割と掘削順序のモデル化

## 7. シミュレーションモデルによる掘削工程計画の作成

ここでは、地下鉄開削工事の掘削工事を中心として論じることとするが、施工ユニットと単位作業の設定基準を適当に与えることによって、基本的には他の土構造物工事にも適用することができる。

### 7.1 掘削工事の工程計画問題

掘削工事の工程計画の作成にあたっては、まず、

- ① 掘削工事に直接影響を与える土質性状、地下水の状況など掘削対象地盤の施工条件の検討・処理、
- ② 掘削工事に先行する地下埋設物や周辺地盤の防護、交通路の切換え等の仮設計画、
- ③ 掘削工事と併行して施工される土留め工・切梁支保工の仮設計画、
- ④ 掘削工事に後続して施工される地下鉄本体構造物の施工計画、

および、

- ⑤ 掘削工事に投入される機械系（機種、処理能力、台数）の選定、

など、掘削工事に直接的・間接的に関係する施工計画要素すべてについて検討しておかなければならない。

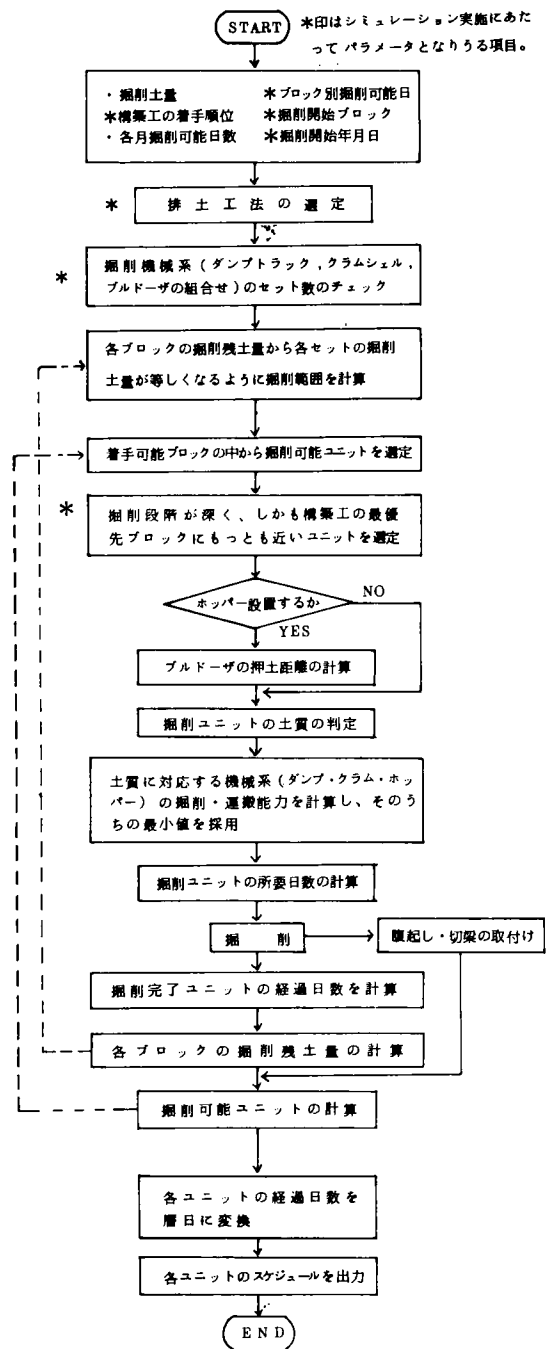
さて、掘削工事の工程計画は、投入される掘削機械系の機種・処理能力・台数を定め、掘削工事に先行する土留め杭打設工事や後続の構築工事から与えられる諸制約を満足する代替案の中で、もっとも実行可能性の高い代替案のスケジュールとして求められる。機械系の選定問題を解くにあたっても掘削工事のスケジュールは求まるが、実施工における具体的な制約条件が考慮されていないために、掘削工程計画にとっては1つの目安を与えるものでしかないことも注意しておかなければならない。

## 7.2 シミュレーションモデルの特徴

ユニット分割と掘削順序の選択に関して機械系選定モデルとスケジュール作成のためのモデルとの相違点についてはすでに触れたとおりであるが、シミュレーションの内容に関してもいくつかの異なる点があり、以下に箇条書きにして述べることにする。

すなわち、

- ① 機械系選定モデルではスケジュール計算の単位を分とし、1日8時間稼働として日数換算を行ったが、掘削工事のスケジューリングにあたってはスケジュール計算の精度を考慮して所要時間の単位を日としている。
- ② 掘削対象地盤の土質を粘性土と砂質土に分類し、ブルドーザとクラムシュエルの処理能力がそれぞれの土質を考慮したものとなるようにしている。また、排土工法ではホッパーを用いる場合とそうでない場合のそれぞれに適用できる。
- ③ ブルドーザ、クラムシュエル、ダンプトラックの投入台数を期間ごとに変更できるようにしている。掘削機械系の処理能力としては上記3種類の機械の最小処理能力を用いる。
- ④ 各施工ブロックの着手可能時期としては、杭打設工や防護工など掘削工事に先行する工事による掘削工事開始日からの遅れ日数を与える。
- ⑤ 構築工事のスケジュールからくる工程上の制約は、構築工事のスケジュール計算の結果から各施工ブロックの着工順位を求め、それ



を掘削工事における各施工ブロックの優先順位として与える。

- ⑥ 掘削工事の中で行う土留め工は日々の掘削作業の終了後にその日のうちに処理するものとしてスケジュール計算の中に含めていない。
- ⑦ 各施工ユニットのスケジュールはユニット分割と同じマトリクス形式で出力される。その場合、掘削開始年月日と各月掘削可能日を与えることによって、掘削工事開始日からの正味日数によるスケジュール表示と暦日によるスケジュール表示の両方のアウトプットが得られるようにしている。

図-3.20は、上述の各項目を満すように作成した掘削工事スケジューリングのためのシミュレーションプログラムのフロー図を示したものである。図中の米印および・印を付した項目はインプットデータ項目であることを示しており、特に、米印は工程制約条件の変化と対応してシミュレーションパラメータとして用いることのできる項目を表している。また、表-3.4はこのシミュレーションプログラムにおいて取扱うことのできる掘削工事の工程計画諸元をとりまとめて示したものである。<sup>17)</sup>

表-3.4 掘削工程シミュレーションにおける計画諸元

INITIAL	XHYEAR,76/XHYMONDAY,1001	(掘削開始年月日)
INITIAL	XHYCMFX,1/XHYLOADM,1	(排土工法)
INITIAL	MHYDAYST(1-5,1-20),2	(切梁架設日数)
INITIAL	MHYSOIL(1-2,1-20),1/MHYSOIL(5,9-20),1	(各施工ユニットの土質)
INITIAL	MHYSOIL(3-4,1-20),2/MHYSOIL(5,1-8),2	
INITIAL	XHYTOTAL,0/XHYTRANS,100	
* FUNCTION		
MONTH FUNCTION	PH9,L12	
	,22/,22/,25/,24/,25/,24/,25/,22/,24/,25/,24/,22	(各月掘削可能日数)
STEX FUNCTION	PH2,L20	(掘削開始ブロック)
	,0/,0/,0/,0/,0/,1/,0/,0/,0/,0/,0/,0/,0/,0/,0/,0/,0/,0/,0/,0/	
STRL FUNCTION	PH2,L20	(構築ブロック着手順位)
	,0/,2/,0/,0/,0/,5/,0/,0/,6/,0/,3/,0/,7/,0/,4/,0/,0/,0/,1/,0/	
UNEX FUNCTION	PH2,L20	
	,45/,55/,75/,50/,35/,0/,0/,0/,0/,0/,0/,0/,0/,0/,0/,0/,0/,0/,60/,40	(掘削可能日)
UNLIST		
BULL FUNCTION	M1,M2	
	365,2/500,3	(ブルドーザ投入条件)
LOADER FUNCTION	M1,M2	
	365,2/500,3	(クラムシェル投入条件)
DAMP FUNCTION	M1,M4	
	30,6/70,8/130,12/200,6	(ダンブトラック投入条件)
* SOILB FUNCTION PH4,M2		
	,FNXCAPBC/,FNXCAPAS	
CAPBC FUNCTION	PH6,C12	(粘性土ブルドーザ能力)
	10,42/20,26/30,19/40,15/50,12/60,11/70,9/80,8/90,7/100,6/110,6/120,6	
CAPBS FUNCTION	PH6,C12	(砂質土ブルドーザ能力)
	10,85/20,53/30,38/40,30/50,25/60,22/70,18/80,16/90,14/100,13/110,12	
	120,11	
* VARIABLE		
CRAYC FVARIABLE	(40,0+2*FNDEPTH*1.0)/60	(クラムシェルサイクルタイム)
SANDC FVARIABLE	(24,0+2*FNDEPTH*1.0)/60	
CRAYEC FVARIABLE	(40+2*FNDEPTH*2.5)/60	(電動クラムシェルサイクルタイム)
SANDEC FVARIABLE	(24+2*FNDEPTH*2.5)/60	
1 FVARIABLE	FNXBULL*5.5*FNYSOILB	(ブルドーザ掘削能力)
2 FVARIABLE	FNXLADER*0.6*5.5*60/PL1	(クラムシェル積込能力)
3 FVARIABLE	FNXDAMP*8.0*5.5*60/80	(ダンブトラック運搬能力)

掘削工事のスケジュール作成にあたって、機械系選定段階と異って種々の制約条件が具体的に与えられていたため、それらを表-3.5のようにリスト出力させた。

掘削工事のシミュレーションによって求められたスケジュールは、表-3.6のように、施工ブロックと掘削段階をそれぞれ行と列とするマトリクスの形で出力されている。ここでは、掘削工事の進捗状況を視覚的に捉えるために、図-3.21に示すように、工事開始後1ヶ月ごとの掘削面の推移と図示することにした。同図の(a)は機械系の選定にあたって所要日数および所要費用の両側面から評価してもっとも望ましい組合せ機械系であると判断されたクラムシェル8台(ブルドーザ3セット)とダンプトラック13台の組合せによる場合のスケジュールである。また、同図の(b)-(1)は同じ組合せ機械系を用い、実際の工事における制約条件を用いた場合のスケジュール計算結果であり、(b)-(2)は表-3.3に示した制約条件のもとでクラムシェル2台(ブルドーザ2セット)、ダンプトラック最大投入台数12台とする実際の工事に投入した機械系によるスケジュール計算結果である。図-3.21の(b)-(2)と実際の工事の進行状況と比較してみると、各施工ユニットの掘削順序や構造物基礎底面への掘削到達時期がよく合致していることがわかった。このことから、シミュレーションモデルを用いる掘削工事のスケジュール計算法は掘削工事の工程を定量的に評価するのに有効であることが明らかとなった。また、掘削工事の工程進捗状況を図示することにより、工事管理者は工程計画の内容をより具体的に確認することができ、掘削工事の工程表示法として望ましい方法であるといえよう。

表-3.5 入力データのリスト出力 COL... 施工ブロック番号  
ROW... 掘削段階

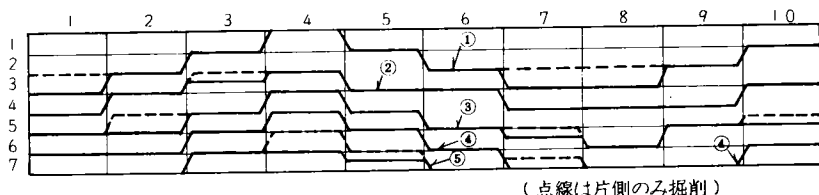
***** HALFWORD MATRICES *****												
***** HALFWORD MATRIX *****												
(掘削土量 m³)												
	COL-1	COL-2	COL-3	COL-4	COL-5	COL-6	COL-7	COL-8	COL-9	COL-10	COL-11	COL-12
ROW-1	300	518	484	473	473	484	473	450	428	493	419	420
ROW-2	900	1532	1451	1418	1418	1451	1418	1350	1283	1483	1258	1240
ROW-3	700	1208	1129	1103	1103	1129	1103	1050	998	1183	1018	980
ROW-4	800	1253	1431	1418	1418	1451	1418	1350	1283	1483	1258	1240
ROW-5	400	690	643	630	630	643	630	600	570	660	558	560
	COL-13	COL-14	COL-15	COL-16	COL-17	COL-18	COL-19	COL-20				
ROW-1	380	375	360	340	340	360	320	324				
ROW-2	1170	1123	1080	1080	1080	1080	810	872				
ROW-3	810	873	840	840	840	840	630	738				
ROW-4	1170	1123	1080	1080	1080	1080	810	872				
ROW-5	520	500	480	480	480	480	360	432				
***** HALFWORD MATRIX *****												
(土質条件 1…粘性土, 2…砂質土)												
	COL-1	COL-2	COL-3	COL-4	COL-5	COL-6	COL-7	COL-8	COL-9	COL-10	COL-11	COL-12
ROW-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ROW-2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ROW-3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ROW-4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ROW-5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	COL-13	COL-14	COL-15	COL-16	COL-17	COL-18	COL-19	COL-20				
ROW-1	1	1	1	1	1	1	1	1				
ROW-2	1	1	1	1	1	1	1	1				
ROW-3	1	1	1	1	1	1	1	1				
ROW-4	1	1	1	1	1	1	1	1				
ROW-5	1	1	1	1	1	1	1	1				
***** HALFWORD MATRIX *****												
(切戻築設日数)												
	COL-1	COL-2	COL-3	COL-4	COL-5	COL-6	COL-7	COL-8	COL-9	COL-10	COL-11	COL-12
ROW-1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
ROW-2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
ROW-3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
ROW-4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
ROW-5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	COL-13	COL-14	COL-15	COL-16	COL-17	COL-18	COL-19	COL-20				
ROW-1	2	2	2	2	2	2	2	2				
ROW-2	2	2	2	2	2	2	2	2				
ROW-3	2	2	2	2	2	2	2	2				
ROW-4	2	2	2	2	2	2	2	2				
ROW-5	2	2	2	2	2	2	2	2				
***** HALFWORD MATRIX *****												
(カレンダー)												
	COL-1	COL-2	COL-3	COL-4	COL-5	COL-6	COL-7	COL-8	COL-9	COL-10	COL-11	COL-12
ROW-1	610	612	612	701	702	703	704	705	704	707	708	709
ROW-2	23	24	22	22	22	23	24	25	24	25	22	24
ROW-3	23	49	71	93	115	140	164	189	213	238	260	284
	COL-13	COL-14	COL-15	COL-16	COL-17	COL-18	COL-19	COL-20				
ROW-1	710	711	712	801	802	803	804	805				
ROW-2	23	24	22	22	22	23	24	25				
ROW-3	309	333	355	377	399	424	448	473				



表- 3.6 各施工ユニットのスケジュール COL... 施工ブロック番号  
計算結果の出力例 ROW... 掘削段階

HALFWORD MATRIX DAYEN													(掘削作業所要日数)			
ROW=	COL= 1	COL= 2	COL= 3	COL= 4	COL= 5	COL= 6	COL= 7	COL= 8	COL= 9	COL= 10	COL= 11	COL= 12				
ROW= 1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
ROW= 2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
ROW= 3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
ROW= 4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
ROW= 5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
COL= 13	COL= 14	COL= 15	COL= 16	COL= 17	COL= 18	COL= 19	COL= 20									
ROW= 1	2	2	2	2	2	1	2									
ROW= 2	2	6	6	6	4	2	3									
ROW= 3	4	3	4	3	3	3	4									
ROW= 4	3	1	1	1	3	3	2									
ROW= 5	1	1	1	1	3	3	2									
HALFWORD MATRIX COMPT													(掘削完了日...終過日数表示)			
ROW=	COL= 1	COL= 2	COL= 3	COL= 4	COL= 5	COL= 6	COL= 7	COL= 8	COL= 9	COL= 10	COL= 11	COL= 12				
ROW= 1	69	93	127	162	197	232	267	302	337	372	407	442				
ROW= 2	81	122	163	204	245	286	327	368	409	450	491	532				
ROW= 3	124	129	137	145	153	161	169	177	185	193	201	209				
ROW= 4	131	143	154	165	176	188	199	210	221	232	243	254				
ROW= 5	147	158	168	179	190	201	212	223	234	245	256	267				
COL= 13	COL= 14	COL= 15	COL= 16	COL= 17	COL= 18	COL= 19	COL= 20									
ROW= 1	14	2	4	6	22	43	70									
ROW= 2	39	20	12	28	47	74	127									
ROW= 3	65	42	32	50	76	129	166									
ROW= 4	90	69	54	79	132	152	163									
ROW= 5	102	91	80	135	155	166	175									
HALFWORD MATRIX CALDAY													(掘削完了日...暦日表示)			
ROW=	COL= 1	COL= 2	COL= 3	COL= 4	COL= 5	COL= 6	COL= 7	COL= 8	COL= 9	COL= 10	COL= 11	COL= 12				
ROW= 1	61124	61214	70106	61203	61113	61003	61005	61707	61009	70112	61207	61109				
ROW= 2	61218	70307	70210	70110	61208	61119	61023	61016	70121	70202	70113	61212				
ROW= 3	70309	70314	70322	70213	70113	61212	61115	70202	70212	70215	70218	70116				
ROW= 4	70316	70405	70414	70501	70417	70117	70204	70301	70304	70307	70218	70208				
ROW= 5	70407	70418	70504	70507	70510	70419	70305	70311	70323	70319	70304	70220				
COL= 13	COL= 14	COL= 15	COL= 16	COL= 17	COL= 18	COL= 19	COL= 20									
ROW= 1	61014	61002	61004	61006	61022	61119	61221	70305								
ROW= 2	61114	61220	61012	61103	61122	70101	70312	70405								
ROW= 3	61216	61117	61107	61201	70105	70314	70406	70419								
ROW= 4	70119	61220	61205	70108	70317	70412	70423	70507								
ROW= 5	70209	70120	70109	70320	70413	70502	70512	70511								

(a)機械系選定によるスケジュール( クラムシエル3台トラツク13台)



(b)実際の制約条件を組込んだ掘削工程のスケジュール

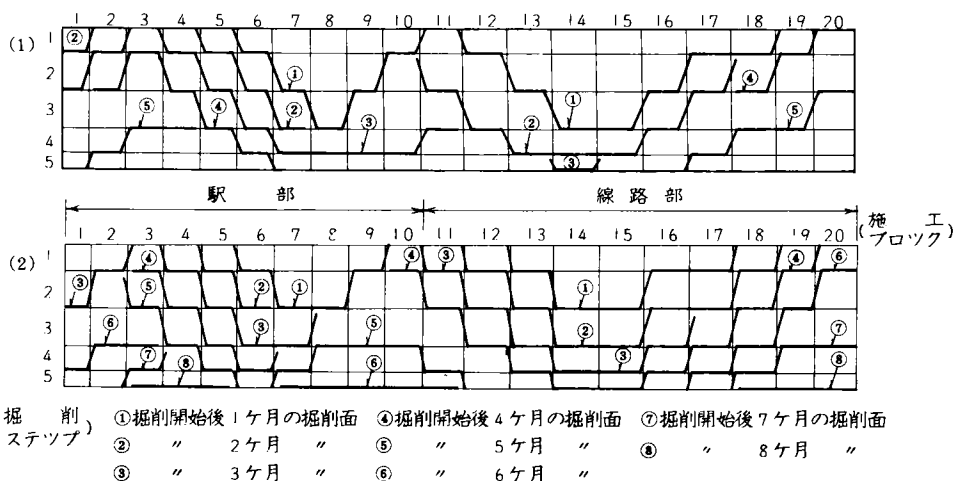


図-3.21 シミュレーションによる掘削工程のスケジュール計算結果

## 第5節 ネットワークモデルによる構築工程計画の作成事例<sup>18)</sup>

### 1. 構築工事における仮設資材の転用計画の課題

地下鉄構造物のように連続して長い構造物の工事を施工する場合、工事区間を適当な長さの施工ブロックに分割して行うことになる。このような工事では、型枠材等の転用を必要とする仮設資材の投入セット数とそれぞれの運用順序は構築工事の総括工程計画を作成するうえで重要な要素となる。

型枠材はコンクリート打設作業を行うために組立てるものであり、型枠材の組立・解体・転用という一連の動きはコンクリート打設単位となる各構造物部位の施工と対応するものとなる。また、すでに述べたとおり、各施工ユニットの所要日数と型枠材の拘束期間とはほぼ一致しているので、施工ユニットを単位工程とする工程ネットワークを作成し型枠材の転用計画問題を解くことによって、構築工事の総括工程計画を作成することができる。本研究においては、ネットワークダイアグラムのタイプとして総括工程計画の単位工程とネットワーク上のノードが1対1に対応している、プレシードンス型ネットワークを用いることにする。本研究においては、第2章で明らかにしたように、実際の工事における施工ブロックや構造物の名称がネットワーク上の作業の中で識別できるように、ネットワーク上のアクティビティ番号に特定の意味づけを行っている。このために、プレシードンス型ネットワークを用いて型枠材等の仮設資材の転用スケジュールを求め、その結果をそのままプリントアウトしたとしても、その内容は容易に判読することができる。

型枠材の転用計画を作成するにあたっては、コンクリート打設単位、すなわち施工ユニットを決定することに加えて、各断面で用いる型枠材の規格・寸法、各施工ユニットの型枠材数量、資機材搬入出のために設ける開口部の位置、各構造物部位の施工順序、作業足場の確保などを考慮して、できるだけ少いセット数でしかもそれぞれの型枠材セットの転用回数がほぼ等しくなるようにすることが望ましい。このような複雑な操作を必要とする型枠材転用計画を数種類の投入セット数について作成し、それらを定量的に比較評価することは人力ではほとんど不可能に近いといえる。とくに、総括計画作成段階は現場技術者にとって工事着工準備の非常に多忙な時期であり、何らかの合理的な計画手法の導入が望まれている理由がある。

地下鉄工事の型枠材の転用にあたって考慮すべきこととして以下の事項があげられる。すなわち、

- ① 型枠材は型枠支保工の組立てから解体までの間各施工ユニットに拘束されるが、地下鉄構造物の両側は土留め壁があり上部はコンクリートスラブがあるため、解体後の移動経路は路線方向に限られる。
- ② 型枠材の移動経路途中で施工中の施工ユニットがあればその施工ユニットを通して移動させることはできない。開口部のある施工ユニットもしくは未着手の施工ユニットからは型枠材を上方あるいは下方へ移動させることができる。施工の完了した施工ユニットは路線方向にのみ型枠材を移動させることができる。現在、解体作業の完了した施工ユニットから型枠材組立て作業の可能な施工

ユニットまでの移動経路は上記の諸条件を考慮しなければならない。

- ③ 移動可能な経路が複数本ある場合には、型枠材の移動経路の距離を最小とする方法がもっとも経済的であるといえる。

ネットワークモデルを用いて型枠材の転用スケジュールを求めようとするにあたっては上述の諸問題に対処しうる方法を組込んでおかなければならない。

## 2. 仮設資材の転用順序の選択基準

ネットワークモデルを用いて仮設資材の転用順序を決定しようとする場合、基本的には山崩し計算法の考え方を適用することができるが、そのための各单位工程の選択基準として2つの側面を考えておかなければならない。その1つは、工事用資源の効率的な運用管理のための運搬経路の選択に関するもので、経路途中の各施工ユニットの作業状態のチェックと仮設資材の移動距離である。他の1つは、ネットワークモデルに山崩し計算法を適用することによって派生的に生じてくる作業着手の優先順位の規則の選択に関するものである。これらの諸問題に対しては、次に述べる方法によって実際の工事において考慮すべき仮設資材の運用問題の解法を組込んだ総括工程計画作成法を適用することができる。

### 2.1. 運搬経路の選択に関する基準

運搬経路の選択にあたって考慮すべき事項としては、運搬経路途中の施工ユニットの作業状態、仮設資材の移動距離などが考えられ、次のようにして評価することにする。

#### (1) 経路途中の施工ユニットの作業状態のチェック

これは、運搬経路の途中にある各施工ユニットの作業状態をチェックして、作業中の施工ユニットのある経路を選択対象から除外するためのものである。いま、図-3.22のように施工ブロック $i$ と構造物部位 $j$ の組合せで表される施工ユニット $(i, j)$ の作業開始時刻を $ST_{ij}$ 、作業終了時刻を $FT_{ij}$ 、現在時刻を $t_0$ とすると、経路途中の各施工ユニットの作業状態を次式でチェックする。

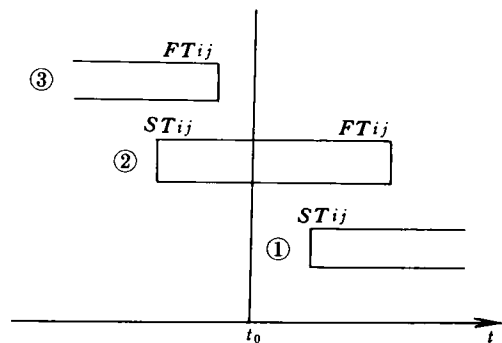


図-3.22 各施工ユニットの作業状態のチェック

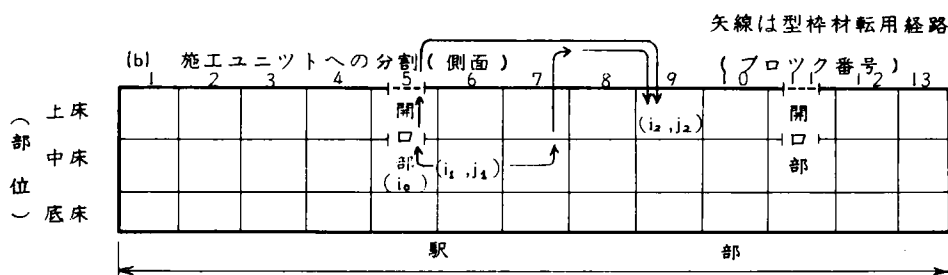
$$\left. \begin{array}{ll} \text{① 作業未着手の状態} & : STij > t_o, \\ \text{② 施工中の状態} & : STij \leq t_o \leq FTij, \\ \text{③ 施工完了の状態} & : t_o > FTij. \end{array} \right\} \quad (3.9)$$

## (2) 仮設資材の移動距離

仮設資材を転用する場合，できるだけ近い施工ユニットを選択することは運搬経費，作業時間，作業手間を軽減するばかりでなく，現場内の作業動線の錯綜を避けることにもなって施工管理上都合がよい。

仮設資材の移動距離の算定は，現在施工中の施工ユニットが含まれていないことがチェックされている運搬経路について行うもので，近似的に次式で求める。すなわち，図－3.23に示すように，現在施工が完了し仮設資材の解体作業が終了した施工ユニットを $(i_1, j_1)$ ，仮設資材を転用して組立て作業にかかる移動先の施工ユニットを $(i_2, j_2)$ ，資機材の搬入出用の開口部を設けている施工ブロックを $i_0$ とすると，仮設資材の各運搬経路の長さは次式で求める指標 $L_{1,2}$ を用いて比較する。

$$L_{1,2} = \left\{ \begin{array}{ll} |i_1 - i_0| + |i_0 - i_2|, & \text{ただし, } j_1 \neq j_2 \text{ かつ } i_1 \\ & i_2 \text{ の間の施工ユニットがす} \\ & \text{べて完了の場合,} \\ |i_1 - i_2|, & \text{その他の場合。} \end{array} \right\} \quad (3.10)$$



図－3.23 仮設資材の運搬経路長の算定方法

$L_{1,2}$ は各施工ブロック番号を用いて近似的に表しているが，これは実際の工事では各施工ブロックの路線方向の長さがほぼ等しくなるように設定することを考慮したためである。もし，各施工ブロックの長さが大幅に異なるような分割が行われている場合には，施工ブロック番号 $i$ のかわりに同じ基準で設定した路線方向の距離 $l$ を用いればよい。また，式(3.10)では，階の異なる施工ユニットに移動させるとき経路途中に未着手の施工ユニットがあればその施工ユニットから資機材の搬入出を行うものとしている。

## 2.2. 作業着手の優先順位の規則<sup>19)</sup>

工程ネットワークの山崩し計算法における作業着手の優先順位の規則としては、トータルフロート  $TF$ 、最遅開始時刻  $LS$ 、単位工程の所要日数  $d$  など工期の延伸に関係すると思われる指標を半経験的に用いているのが実情である。これら各種指標については次章で触れることにするが、ここでは、山崩し計算法における優先順位の指標として  $TF$  を用い、その算出方法として次の2方法を考えることにする。

- ① PERT 計算の結果求められるトータルフロートの値をそのまま用いる。
- ② PERT 計算の結果求められるトータルフロートの値は初期値として用い、山崩し計算では作業着手の遅延日数で修正したものを用いる。

また、単位工程のスケジュールの方法として、ここでは、現在時刻で資源制約を満すものを優先順位の規則にしたがって取出し現在時刻にスケジュールするという方法と、優先順位にしたがって取出された単位工程を資源制約を満す時刻にスケジュールするという方法が考えられる。

以上の作業着手の優先順位の規則に関する考察をとりまとめて示すと、表-3.7 のようである。作業着手の優先順位の規則と工事用資源の効率的な運用や工期延伸との明確な関連性は明らかでなく、ネットワーク形状や工事用資源の投入数なども関係してくる。こうしたことから、工程計画の作成に山崩し計算法を適用するにあたっては実際のネットワークに上記の各種方法を用いてスケジュールを作成して比較検討し、もっとも望ましい代替案を選択するのがよいであろう。

表-3.7 作業着手の優先順位の規則

項目	内 容
優 設 先 定 順 方 位 法 の	a. トータル・フロート ( $TF$ ) の小さい順 b. 遅延距離 ( $L_{1,2}$ ) の小さい順 c. 第1基準 $TF$ 、第2基準 $L_{1,2}$ の小さい順 d. 第1基準 $L_{1,2}$ 、第2基準 $TF$ の小さい順
T 算 F 定 の 方 法	a. $TF$ を時刻ごとに逐次再計算 b. PERT 計算結果の $TF$ をそのまま用いる
ス ケ ジ ュ ー ル 手 順	a. 選択した作業を資源制約を満す時刻にスケジュール b. 現在時刻で資源制約を満す作業のみをスケジュール
転 設 用 定 順 方 序 法 の	a. 本研究による方法を用いて求める b. 現場技術者が過去の施工経験にもとづいて一意的に与える

## 3. 投入資源の制約が厳しい場合の単位工程モデル

総括工程計画の作成段階においては、施工ブロックと構造物部位で区分される施工ユニットを単位工程としてネットワークモデルを作成し、施工ユニットの所要日数とはほぼ等しい拘束日数を持つ型枠材の転用計画と構築工事の総括的なスケジュールを定めることがその主要な目的であるといえる。この段階で工事施工の基本的方針を定めて、詳細工程計画の段階において工事実施計画を確立するとい

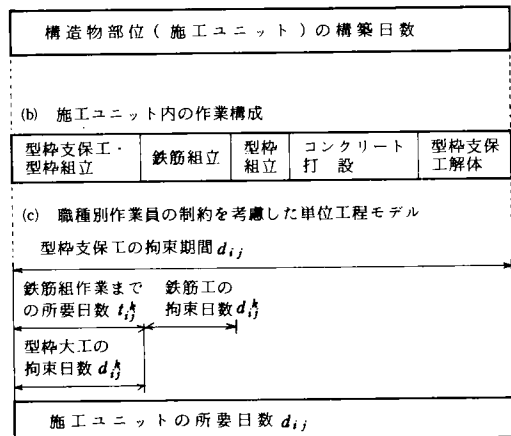
うのが普通のパターンであろう。

しかしながら、近年の地下鉄工事のように隣接工区との競合や他の工事プロジェクトとの関連、さらに熟練技能労働者の減少によって型枠材等の仮設材のみならず鉄筋工や大工等の技能職種の作業員の調達状況が厳しくなってくると、工事着工後の早期の段階にそれらの職種別作業員の調達計画を明らかにしておく必要がある。すなわち、総括工程計画の作成段階においては、型枠材等の仮設資材の運用計画に加えて職種別作業員の調達条件に関する検討を行っておかなければならなくなっているのである。

ここでは、次に述べるような単位工程モデルを考案することにより、投入資源の制約が厳しい場合の総括工程計画作成法を提案することとする。

いま、構築工事の総括工程計画において用いる単位工程は一般に図－3.24 (a)に示すようにモデル化することができるが、仮設資材のみならず鉄筋工や大工などの調達条件が厳しい場合には同図 (c) のようにモデル化するのである。すなわち、まず、各施工ユニットの作業構成にしたがって各单位工程の作業着手日から調達条件の厳しい当該工種  $k$  の作業開始日までの所要日数  $t_{ij}^k$  と工種  $k$  の作業所要日数  $d_{ij}^k$  および投入員数（または班数） $m_{ij}^k$  を求めておく。プレシーデンス型ネットワークで総括工程計画を作成している場合には、施工ユニットと対応するように設定している単位工程を改めて工種レベルの単位作業に再分割することなく、施工ユニットの単位工程の属性データとして付加的に与えることができる。

(a) 総括工程の単位工程



図－3.24 構築工事の総括工程計画における  
単位工程モデル

さて、このような工程モデルを設定するとき、PERT / MANPOWER の山崩し計算法のアルゴリズムを以下のように変更することができる。

現在時刻を  $t_0$  とし通常 mountain collapse 計算の優先順位の規則を適用して時刻  $t_0$  において次に移動する施工ユニット（単位工程）を選択する。そのとき、当該の施工ユニットに含まれている資源制約の厳しい工種  $k$  について  $(t_0 + t_{ij}^k)$  時点での投入数について制約条件を満足するかどうかを調べる。もし満足するならば他の工種  $k'$  についても同様の操作を行い、すべての制約を満足すればその単位工程を  $t_0$  で着手するものとしてスケジュールする。

もし、そのとき、制約条件が満たされないために当該工種の作業が実施できない場合には、その単位

工程の作業着手を  $(t_0 + 1)$  以降に遅らせるか、あるいは当該工種が着手可能となるまでの作業着手日の延伸日数  $\Delta d_{ij}^k$  を求め、その単位工程の所要日数  $d_{ij}$  を次式を用いて  $d_{ij}'$  に修正して作業着手とするかのいずれかの方法でスケジュールすればよい。

$$d_{ij}' = d_{ij} + \Delta d_{ij}^k \quad (3.11)$$

このようなアルゴリズムが可能であることも、プレシードンス型ネットワークを用いることの顕著なメリットの1つであるといえよう。

図-3.25は、以上の考察で明らかとなった総括工程計画における仮設資材および主要職種の運用計画を作成するためのアルゴリズムをフロー図で示したものである。すなわち、ネットワークモデルにおける山崩し計算法の考え方をベースとして、仮設資材の運搬経路の選択基準、運搬距離の評価、作業着手の優先順位の規則、調達条件の厳しい職種の制約等を考慮した総括工程計画の作成法を示したものである。図中に米印を付した項目は計画対象工事における工事内容、施工方法および工程上の諸制約などによる条件を任意に組合せて選択することができる。すなわち、このプログラムではPERTと同様の様式・内容の工程データを入力し、各施工ブロックの着手時期・完了予定時期・工事

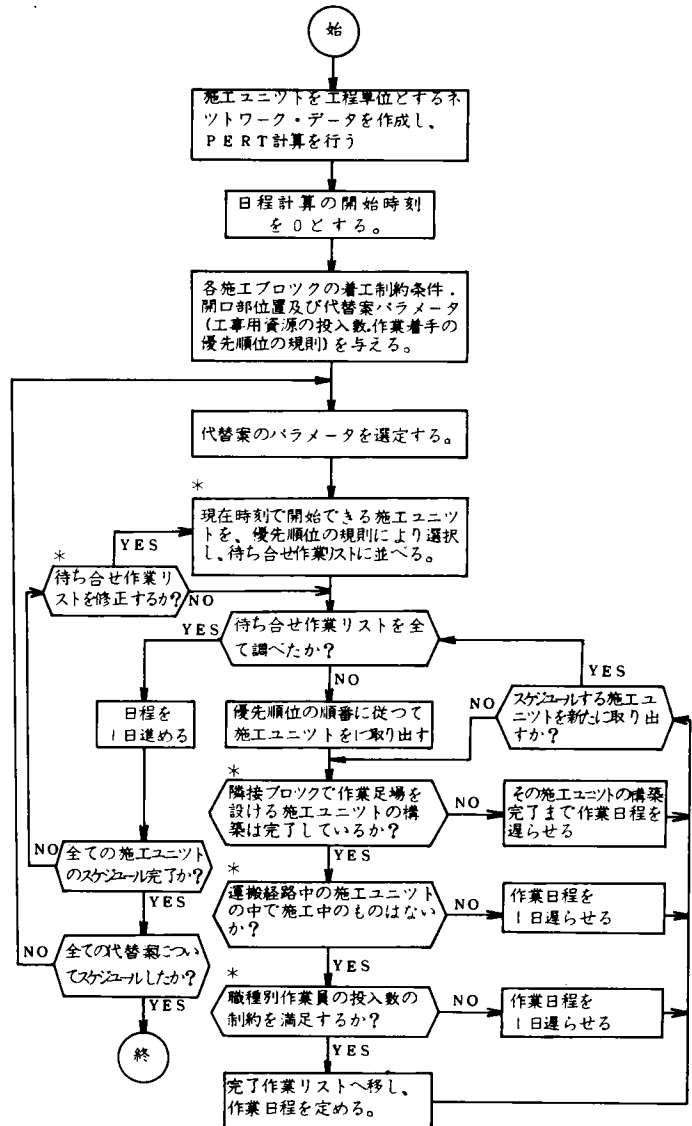


図-3.25 総括工程計画の作成のフローチャート

用資源の投入数，作業着手優先順位の規則，資機材搬入出のための開口部の位置などを任意に指定することができるようにしている。

図－3.25に示した総括工程計画作成法の適用事例については次項において考察することとする。

## 4. 地下鉄構築工事における適用事例

### 4.1 型枠材転用計画の作成事例<sup>20)</sup>

適用対象のモデル工事として取上げたのは大阪市南部に位置する開削工法による地下鉄工事であり，機械系選定および掘削工事のスケジュール作成にシミュレーションモデルによる方法を適用した工事である。

適用にあたって，まず，地下鉄構造物をコンクリート打設と対応して図－3.6に示した施工ユニットに分割した。当工事では，隣接して施工される高速道路下部工事との関係から，地下鉄構造物の施工に先立って防水工を施す区間（内防水区間と呼称している）と地下鉄構造物の施工後に防水工を施す区間（外防水区間と呼称している）とに分けて施工することになった。このため，内防水区間では中床部（1階部分），上床部（2階部分）ともにスラブ部と壁部を分けて施工し，外防水区間ではスラブ部と壁部を一体化して施工することにした。また，資機材の搬入出のための開口部は5ブロックと17ブロックに設けることになった。

シミュレーション実施にあたってのネットワークデータは表－3.8のように与えた。今回のシミュレーションにあたっては，この表に示すように，工事全体の施工状況を反映させた範囲内でネットワークデータの簡略化を図り，型枠材の転用順序を把握することにした。

また，工程ネットワークの順序関係データは同じ施工ブロックの中 of 構造物部位間の順序関係，つまり，技術的な順序関係のみを与え，型枠材の転用順序を図－3.25に示し

表－3.8 各施工ユニットの所要日数データ（日）  
およびシミュレーションの実施条件

ブロック 部位	駅 部 外 防 水							駅 部 内 防 水			線 路 部 内 防 水				線 路 部 外 防 水					
	1	2	3	4	⑤	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	⑦	18	19	20
底 床	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
中床 カベ								10	10	10	10	10	10	10						
中床 スラブ								10	10	10	10	10	10	10						
中床 カベ スラブ	15	15	15	15	15	15	15								15	15	15	15	15	15
上床 カベ								10	10	10										
上床 スラブ								10	10	10										
上床 カベ スラブ	15	15	15	15	15	15	15													
開口部位置	○																			
型 枠 材 の 投入セット数	(代替案Ⅰ) 4セット、 (代替案Ⅱ) 5セット、 (代替案Ⅲ) 6セット																			
許容工期(日)	3 0 0																			

た方法で求めることとした。型枠材の投入セット数としては，4セット，5セット，6セットの3つの代替案を考えた。許容される工期としては300日を与えた。



以上のインプットデータを用いて、総括工程計画のスケジュールを計算したところ、3つの代替案すべてが許容工期を満していたので、それぞれの代替案における型枠材の転用回数、転用順序および作業員投入状況への影響を検討するために、表-3.9のようにとりまとめた。その結果、型枠材の転用回数のバランスや転用順序などから5セットを投入する案がもっとも望ましいと考えられた。この結果は現場の主任技術者の考えている施工方針とはほぼ一致するものであった。

表-3.9 型枠支保工転用計画代替案の比較

	セット1	セット2	セット3	セット4	セット5	セット6
代 替 案 I	14中床スラブ ↓ 15中床 ↓ 16" ↓ 17" ↓ 12中床スラブ ↓ 1上床 ↓ 2" ↓ 3"	19中床 ↓ 20" ↓ 9中床スラブ ↓ 13" ↓ 8" ↓ 6上床 ↓ 10中床スラブ ↓ 11"	6中床 ↓ 7" ↓ 18" ↓ 3" ↓ 1" ↓ 7上床 ↓ 8上床スラブ ↓ 9" ↓ 10"	2中床 ↓ 5" ↓ 4" ↓ 5上床 ↓ 4" ↓ 4"		
	8中床スラブ ↓ 1中床 ↓ 2" ↓ 3" ↓ 5" ↓ 6" ↓ 7上床 ↓ 8上床スラブ	9中床スラブ ↓ 7中床 ↓ 10中床スラブ ↓ 4中床 ↓ 1上床 ↓ 4" ↓ 5"	15中床 ↓ 16" ↓ 17" ↓ 18" ↓ 3上床 ↓ 6"	14中床スラブ ↓ 13" ↓ 11" ↓ 12" ↓ 9上床スラブ ↓ 10" ↓ 2"	20中床 ↓ 19"	
	8中床スラブ ↓ 1中床 ↓ 2" ↓ 3" ↓ 5" ↓ 6" ↓ 7上床 ↓ 8上床スラブ	9中床スラブ ↓ 7中床 ↓ 10中床スラブ ↓ 9上床スラブ ↓ 10" ↓ 2上床	15中床 ↓ 16" ↓ 17" ↓ 18"	14中床スラブ ↓ 13" ↓ 11" ↓ 12" ↓ 3上床 ↓ 6" ↓ 5"	20中床 ↓ 19"	4中床 ↓ 1上床 ↓ 4"

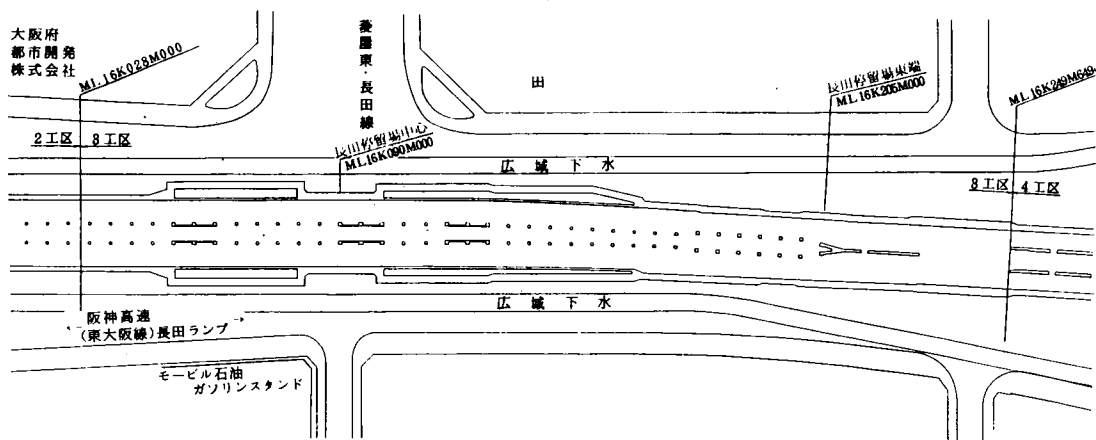
(セット番号は型枠材投入セットを表し、構造物部位の前の数字はブロック番号を表す)

## 4.2. 資源制約が厳しい場合の総括工程計画事例

適用対象として取り上げたモデル工事は大阪市東部に位置する地下鉄駅部工事である。当工事の平面図および側面図を図-3.26に示す。また、図-3.27は標準断面図である。表-3.10に主要工事諸元を示す。

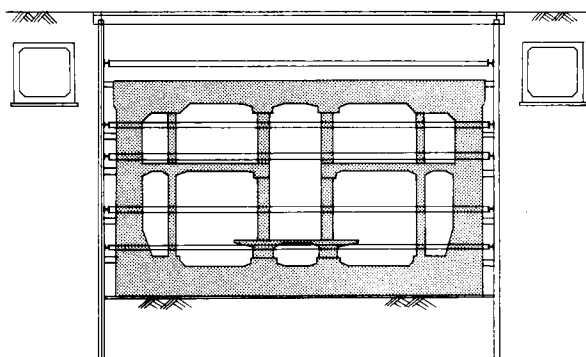
### (1) シミュレーションモデルによる掘削工程計画の検討事例

近年の市街地工事では工事計画申請手続をも含め準備工の段階が長期化する傾向にある。当工事においても、準備工の段階で約6ヶ月を要したため、鋼支柱打設工の着手時期が当初の予定より約3ヶ月遅れることとなり、それに応じて以後の各工事もそれぞれ同程度の期間作業着手を遅らせることとなった。しかし、構築工事施工期間は後続の高速道路高架橋工事によって完了時期が定められており、掘削工事の施工期間を短縮する必要が生じた。また、当工事はN値0の軟弱粘土層があってその改良のためのケミコパイル工法を採用しており、一次掘削ののち所定本数のケミコパイル打設をも含めて



図－ 3.26 地下鉄工事（大阪市東部）の平面図および側面図

掘削工事の工程を検討する必要があった。そこで、構築工事の施工ユニット分割と対応するように、図－ 3.28に示す掘削工程モデルを作成した。そして、このモデルに対してすでに決定していた掘削機械系（クラムシエル（ $0.6\text{m}^3$ ）1台と湿地ブルドーザ2台を1セットとする）による掘削作業と土留め切梁作業を対象として図－ 3.21に示したシミュレーション



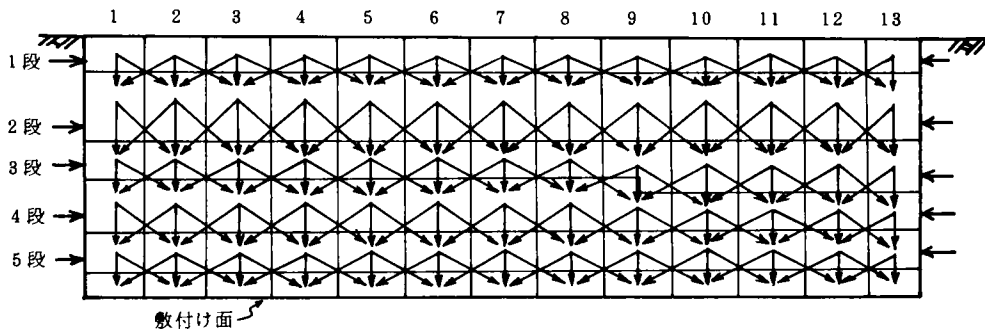
図－ 3.27 標準断面図

モデルを作成した。掘削工事のスケジュールは後続の構築工事のスケジュールを確保するために各施工ブロックの許容完了期日が定められていたので、それを満足するような月間掘削処理量を採用することとした。その結果、月間掘削処理量を  $11,000\text{ m}^3$  とするように、各施工ユニットの掘削所要日数を定めるならば、掘削工事の許容工期を満足することがわかった。そして、この場合について、図－ 3.29のスケジュールをプロッターを用いて出力させて、細部の工程を検討した結果、一次掘削の後のケミ

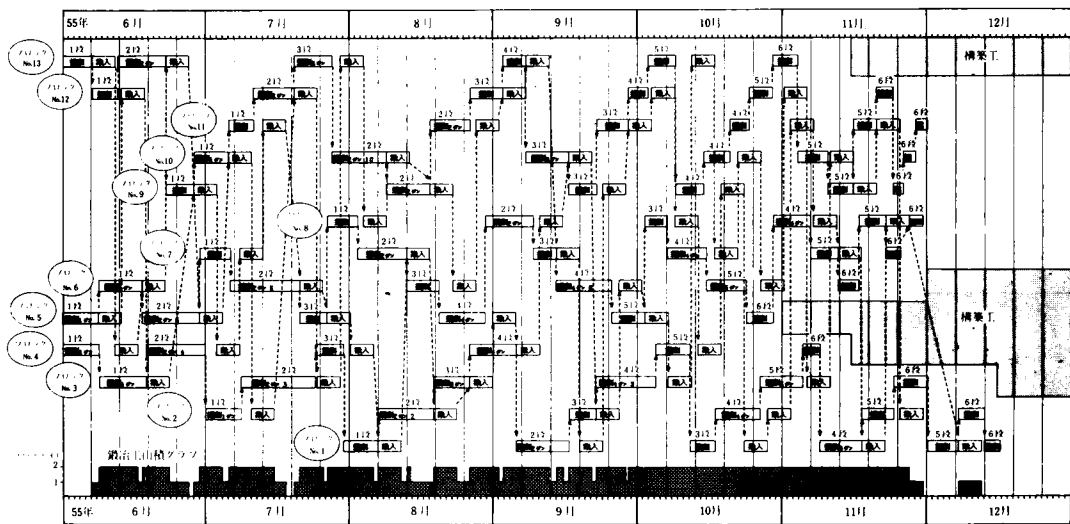
コパイルの打設工程に対して也十分に満足することが判明したので、実施案として採択することとした。

表－3.10 地下鉄工事（大阪市東部）の主要工事諸元

① 施工法		開さく工法	
② 工事延長	221.649m(駅部177m, 線路部44.649m)	④ 躯体コンクリート	29,900 m <sup>3</sup>
③ 土工量	掘削 98,800 m <sup>3</sup> 剩土搬出 79,460 m <sup>3</sup> 埋戻 14,340 m <sup>3</sup>	⑤ 鉄筋量	2,779 t
		⑥ 鋼杭・鋼支柱	287 本
		⑦ 連続土留杭	1,186 本



図－3.28 掘削工事の施工ユニット分割と工程モデル



図－3.29 シミュレーションモデルを適用して求めた掘削工程スケジュール

## (2) ネットワークモデルによる型枠材・鉄筋工・型枠大工の運用計画の検討事例

掘削工事における掘削作業・土留め切梁作業のシミュレーション結果は構築工事の総括工程計画における作業着手の制約として与えることにした。総括工程計画作成にあたっての諸制約条件および工事用資源の投入に関する諸制約を一覧にして示すと表－3.11のようである。

これからわかるように、当工事における総括工程レベルの計画課題として型枠材の転用計画と主要職種である鉄筋工および型枠大工の調達計画を取上げることにした。

表－3.11 構築工事の総括工程計画の制約条件一覧

制約条件	ブロック番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
構築開始ブロック						○								○
掘削工の制約による遅れ(日)		40	30	20	10	0	10	20	30	40	40	30	20	10
開口部の位置						○						○		
埋戻し工の制約		約2ヶ月間を見込む												
工事用資源の投入可能数		型 枠 大 工：1～2班（1班20人編成を基準とする） 鉄 筋 工：1～2班（1班20人編成を基準とする） 型 枠 支 保 工：5～7セット（6セット投入を基準とする）												

当工事においては、

総括工程計画の計画変数として型枠材、鉄筋工、型枠大工の3変数であり、それぞれがある範囲の値を取るようになるために、以下のような方法でそれぞれの変数を逐次決定していくこととした。

① 各施工ユニットにおける工種別作業は図－3.7に示すような構成であり、主要職種の型枠大工と鉄筋工はそれぞれ1班22人の編成として、作業所要日数を求める。各施工ユニットの所要日数は式（3.8）を用いて算出し、図－3.24に示した単位工程モデルを適用するのに必要な工程データを作成する。適用事例については表－3.12のようである。

② 順序関係データについては、各施工ブロックに含まれる構造物部位間の順序関係と隣接ブロック間の順序関係を与える。適用事例について示すと図－3.30のようである。

③ 次に、型枠大工の投入班数にのみ制約を与え、鉄筋工および型枠材の制約は与えない状況のもとでネットワークモデルを用いて工期を試算する。

④ ③の試算結果にもとづいて型枠大工の投入班数を決定する。

⑤ 型枠大工の投入班数を固定し、鉄筋工の投入班数に制約を与えて前と同様に工期を試算する。

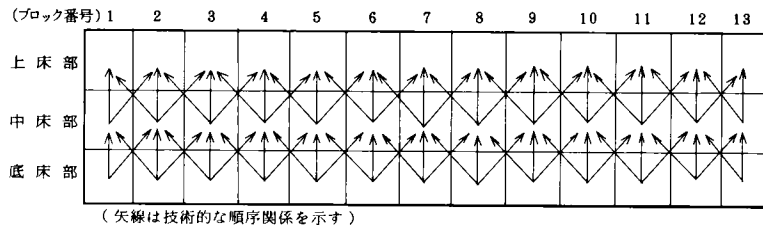
⑥ ⑤の試算結果にもとづいて鉄筋工の投入班数を決定する。

⑦ 型枠大工と鉄筋工の投入班数を固定し、それぞれの制約のもとの型枠材の投入セット数に制約を与える。このときのスケジュール計算にあたっては、図－3.25に示した仮設資材の転用計画作

表－3.12 各施工ユニットおよび各工種の日数データ(日)

ブロック番号		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
構造物部位														
底 床 部		43	42	49	42	46	47	45	42	39	47	38	38	47
鉄 筋 組 み	開始日	5	5	5	5	5	5	5	5	5	13	5	5	5
	終了日	10	12	15	11	13	14	11	11	10	17	9	10	14
中 床 部 所 要 日 数		31	30	38	37	39	34	30	30	23	29	26	26	34
型 枠 支 保 工 組 み	開始日	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	終了日	9	8	12	14	16	11	8	8	7	8	6	6	10
鉄 筋 組 み	開始日	10	11	15	17	19	14	11	11	10	11	9	9	12
	終了日	14	15	21	21	23	18	15	15	13	14	12	12	17
上 床 部 所 要 日 数		34	35	43	37	39	46	34	34	33	35	33	33	35
型 枠 支 保 工 組 み	開始日	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	終了日	8	9	12	11	11	13	9	9	8	10	8	8	9
鉄 筋 組 み	開始日	11	12	15	14	14	16	12	12	11	13	11	11	11
	終了日	18	20	30	21	24	28	19	19	18	19	17	18	19

成のためのプログラ  
ムを用いる。優先順  
位の規則の設定や転  
用経路の選択にあた  
っては表－3.7に示  
した項目を組合せ、  
それをパラメータに  
よって指定するもの  
とする。



図－3.30 構築工事の総括工程計画モデル

以上のような総括工程計画の作成手順のうち①～⑥のステップにしたがって職種別作業員の投入班数の決定のために求められたものが表－3.13である。この表からわかるように、職種別作業員については型枠大工2班と鉄筋工1班を投入することにした。

表－3.13 職種別投入班数の決定

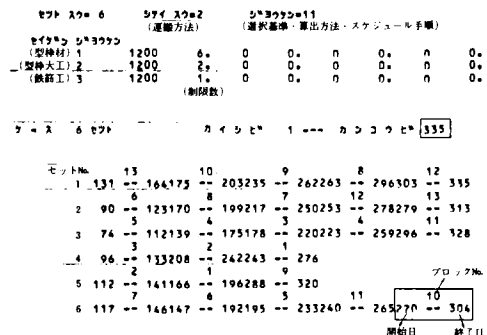
項目 ステップ	型枠大工の 投入数(班)	鉄筋工の 投入数(班)	工 期 入(日)	構造物工事の 許容工期T <sub>容</sub> (日)
I	2	—	232 *	340
	1	—	332	
II	2	2	241	
	2	1	311 *	

\* 各計算ステップにおける選択案

次に、型枠材については施工ユニット数や型枠大工の投入班数との関係から6セットの投入を第1案としてステップ⑦のスケジュール計算を行うことにした。スケジュール計算の結果は図－3.31に示すように、工期、各施工ユニッ

トの開始日・終了日、型枠材の各セットの転用順序をプリンターを用いて出力させる。工程表はプロッターに描かせることにしているが、6セットの工程計算の結果から5セットを投入したのでは工期の制約340日を満さないことがわかった。そこで、型枠材は6セット投入するものとして表－3.7に示したスケジュール計算法を適用することにより、それらの中から望ましいスケジュールを与える代替案を選択することにした。表－3.14

はスケジュール計算の結果として各ケースの工期を示したものである。この結果とプリンターやプロッターから出力される工程計画の内容を型枠材の転用順序や転用回数、職種別作業員の使用状況などを総合的に評価することにより、表中の米印を付した案がもっとも望ましい計画案を与えるものと判断



図－3.31 総括工程計画のスケジュール計算結果のアウトプット例

した。また、表中の最下段の案は隣接ブロックへ順次転用させていくという、現場技術者が過去の施工経験にもとづいて一般によく行っている方法の場合の工期である。この方法では工期を超過して望ましくないことがわかるであろう。

表- 3.14 総合的な評価による総括工程計画案の選択

④ 転用 順序 の設定	③ スケ ジュール の手順	② TF の設定	① 優先順位 の設定			
			a	b	c	d
			TF	L 1, 2	第1: TF 第2: L1, 2	第1: L1, 2 第2: TF
a (本 研 究 の 方 法)	a	a	354	352	354	351
		b	359	328	335*	340
	b	a	344	—		
a	b	a	345	—		

## 第6節 結 言

工事の構想化段階における工程計画は、工事施工の基本的構想を全体工程の中で総括的に評価するという重要な工程計画機能を果たすことが要求され、合理的な工程計画作成方法の必要性は大きいといえる。本研究は、工事計画作成の中でそのように位置づけされる総括工程計画のスケジューリングの方法について事例を中心とする研究を行ったものである。

まず、第2節においては、総括工程計画は基本的には主要な工事用資源の運用計画の作成に帰するという本研究の考え方にもとづいて、管理的な順序関係の種々の決定方法について考察した。また、土木工事の工程特性を土構造物と（鉄筋）コンクリート構造物とに類別的に区分してそれぞれの施工ユニットの特性について考察した。そして、総括工程計画の作成にあたって考慮すべき評価要素について計画作成プロセスにしたがった考察を行って、総括工程計画のシステム化を進めるにあたって重要な事項を取り上げてその方法を明らかにした。

第3節においては、地下鉄工事における総括工程計画のモデルについて考察した。地下鉄工事は土構造物の掘削工事と鉄筋コンクリート構造物の構築工事が主要なものである。両者は時間的にも空間的にも密接な対応関係を有しており、その総括工程計画の作成方法を明らかにすることは土木工事施工の工事計画・管理の合理化に大きく寄与するものとなる。こうした考え方のもとに、施工ユニットの設定方法および単位工程のモデル化について、構築工事と掘削工事との対応関係、両者のそれぞれの施工特性ならびに工程特性を考慮した方法を明らかにした。

第4節においては、掘削工程計画の作成についてシミュレーション手法を適用した工程計画作成方法を地下鉄工事の事例を通して考察した。まず、掘削工事の計画課題を機械系の選定問題と工程計画のスケジュール作成問題として捉え、それにはGPSS等の離散型シミュレーション言語の適用が有

効であることについて述べた。そして、メモーションカメラを用いた動態観測にもとづいて掘削機械系の稼働状況を把握するとともに、上記の2つの計画問題に対するシミュレーションプログラムを開発した。

機械系選定シミュレーションの適用を通して工事期間と工事費用の間のトレードオフの関係を捉えてブルドーザ・クラムシェル・ダンプトラックからなる機械系に最適な組合せの存在することを明らかにした。掘削工程計画のスケジュール作成は最適な機械系に対して求めたスケジュールを基礎としつつ実際の工事施工上の制約を考慮することが重要であり、実行可能性の高い工程計画の作成方法を適用事例を通して実証的に明らかにした。

第5節においては、構築工事の総括工程計画作成問題は仮設資材の転用計画の作成が中心となるという考え方にもとづいて、ネットワークモデルを適用した方法を明らかにした。仮設資材の転用スケジュールの作成にあたっては基本的には山崩し計算法の適用が実行可能性の高い計画を作成するうえで適切である。その場合の仮設資材の転用順序の選択にあたって、仮設資材の移動距離と移動経路途中の作業状態のチェックを行い、より実行可能性が高くかつ施工の経済性をも考慮したスケジュール作成方法を提案した。さらにまた、近年の資源調達の厳しい状況のもとで、鉄筋工や型枠大工等の職種別作業員の調達数の制約のもとで仮設資材の転用スケジュールを求める総括工程計画の作成方法を明らかにした。

以上の総括工程計画の作成に関する本研究の方法を大阪市の地下鉄工事に適用することにより、掘削工事のスケジュールを制約条件として導入した構築工事の総括工程計画のスケジュールを求めた。その結果、本研究の方法によれば、種々の代替案の中からもっとも望ましい工程計画案を容易に選択することができ、しかも実際にも適用可能であることを実証的に明らかにすることができた。

## 参 考 文 献

- 1) 春名攻・田坂隆一郎：土木施工における工程計画・管理のシステム化に関する実証的研究，第5回土木計画学研究発表会講演集，PP. 638～647，土木学会，1983.
- 2) 川崎健次・春名攻・田坂隆一郎・笹嶋博：ネットワークモデルによる施工計画システムに関する研究，土木学会論文報告集，第204号，PP. 95～105，1972.
- 3) 吉川和広・春名攻：施工計画における最適ネットワークの作成法に関する一考察，土木学会論文報告集，第182号，PP. 41～58，1970.
- 4) 前出2).
- 5) 荒井克彦：機械化土工における工程計画最適化手法の開発と応用，学位論文，1975.
- 6) 前出2).
- 7) 春名攻・田坂隆一郎：土木工事の工程計画の方法に関するシステム論的考察，土木学会論文報告集，第318号，PP. 117～126，1982.
- 8) 前出7).
- 9) 春名攻・田坂隆一郎：地下鉄開削工事における掘削工程のシステムシミュレーション，土木学会論文報告集，第293号，PP. 91～99，1980.
- 10) 前出9).
- 11) 前出7).
- 12) 前出9).
- 13) 恵羅嘉男・岩田登志子・寺西修：システムシミュレーション—GPSS—，日刊工業新聞社，1970.
- 14) Geoffrey Gordon：The Application of GPSS V to Discrete System Simulation，Prentice Hall，1975.
- 15) 日本電気：ACOS シリーズ77，NEAC アプリケーションシステム ACOS—6，離散型シミュレーション言語説明書<GPSS / V—6>，1977.
- 16) 渡辺健・塚田章・和田一郎・猪瀬二郎：土木施工法講座15 地下鉄道施工法(上)，(下)，山海堂，1975.
- 17) 春名攻・田坂隆一郎・折田利昭：地下鉄開削工事における掘削工程のシミュレーション，第33回年次学術講演会講演概要集第Ⅳ部，PP. 309～310，土木学会，1978.
- 18) 前出7).
- 19) 川崎健次・田坂隆一郎・折田利昭：総括工程計画作成の方法に関する一考察，第34回年次学術講演概要集第Ⅳ部，PP. 378～379，土木学会，1979.
- 20) 川崎健次・春名攻・西野久二郎・田坂隆一郎・折田利昭・安井英二：土木工事における施工計画・管理システムに関する研究，第1回土木計画学研究発表会講演集，PP. 124～140，土木学会，1979.
- 21) 田坂隆一郎・折田利昭・安井英二・佐幸田泰明・米田宗司・西野久二郎：マイコンを利用した現場管理システム—地下鉄工事における工程管理事例—，昭和57年度技術研究発表会論文集，PP. 129～163，鴻池組，1982.



## 第4章 詳細工程計画のスケジューリングの方法に関する事例研究

### 第1節 緒 言

工事の構想化段階において工事施工の基本的方針が確立されると、次には、実施計画を作成することになる。工事実施計画は、総括工程計画におけるように概略的で標準的な計画ではなく、実際の施工状況を想定しての個々の工事や各工種、各作業の実施方法や日程に関する計画であり、それらの工事施工に投入される各種工事用資源の調達や使用に関する計画である。工事の実施計画を作成する段階では、工事着工当初に想定したものと異なる施工条件や考慮外であった要素が出現することもあるが、工事全体の運営管理という観点からは工事施工の基本的方針にしたがって計画の作成がなされるということは言うまでもない。

詳細工程計画は、施工計画や作業計画の内容にもとづいて工種レベルもしくは作業レベルの全体工程計画を作成することにより、工事全体の作業日程と各種工事用資源の運用スケジュールを策定するものとして位置づけられる。近年の市街地工事のように、複雑で大規模な土木構造物を、狭い工事空間と隣接構造物や地下埋設物等との関係による複雑で厳しい工事環境のもとで、多種多様な資源を用いて工事を実施しなければならない場合には、必然的に計画内容も複雑となり、細部にわたって綿密な検討が行われなければならない。このような工事において工事内容を作業レベルにまで細分化して詳細工程計画を作成しようとする、工事全体の作業数は膨大なものとなり、しかも、その中で扱われる工事用資源の種類や考慮すべき制約条件も多様となる。

PERT・CPMとしてよく知られているネットワーク手法は、大規模プロジェクトの日程計算法として有効であり、その基本的な解法はすでに確立されているところである。しかしながら、土木工事の工程計画・管理手法としての適用性に関しては、これまでも指摘してきたように、解決すべき多くの課題が存在している。そのひとつはネットワーク手法による工程表現の問題であり、日程計算法のアルゴリズムに関するものである。他のひとつはネットワーク手法の土木工事への適用基準に関する問題である。従来においては、これらの諸問題に対する指針を明示しないままに適用されてきたために、工程ネットワークデータ作成の煩雑さに比べて適用効果が低いという厳しい評価がなされ、また同時に、適切に運用されることも少かったと考えられる。

本研究においては、これらの諸問題を解決するために、土木工事の工程計画・管理、とくに詳細工程計画の作成にネットワーク手法を適用するにあたっての課題について考察する。次いで、ネットワーク手法を用いての詳細工程計画システムを4つのフェーズ、すなわち、インプットデータの作成、

日程計算法、資源平滑化計算法、アウトプットデータのとりまとめ、に分け、それぞれにおける課題と解法について述べることにする。そして、ここで提案するシステムを用いて大阪市東部の地下鉄工事の詳細工程計画を作成した事例を示して、その有効性を実証することとする。

また、詳細工程計画の作成と同時に、工事施工上特に検討を要する課題についても、施工技術上あるいは施工管理上の観点から検討が加えられる。ここでは、そのような問題へのシステムアプローチの事例として、大規模ケーソン工事のコンクリート打設作業を取り上げることにする。

## 第2節 詳細工程計画の課題の整理<sup>1)</sup>

### 1. 工事実施計画における詳細工程計画の位置づけ

工事施工の構想化段階と実施計画作成段階とは工程計画作成の目的や機能が異なるばかりでなく、工事を取りまく諸状況や施工計画の具体化の程度も異なっている。しかし、工事現場の運営管理という観点からは一貫した方針のもとに計画作成が行われるべきであり、総括工程計画と詳細工程計画とは体系的に整合が取れていなければならない。土木工事は施工途中の設計変更や施工計画の変更も少なくはなく、両者の計画内容が体系的な対応関係を有していることは工事の施工段階において一層その必要性が高いとさえいえよう。このことは工程計画が工事施工の計画・実施段階においてのみ機能すればよいというのではなく、施工管理段階とも十分対応したものでなければならないということ、つまり、工程管理との対応を考慮したフォローアップ機能やリプランニング機能が重要であることを意味している。この点に関しては次章において詳細に考察することとし、ここでは、詳細工程計画段階の計画機能に関する課題について述べることにする。

表－4.1は、地下鉄工事における工事実施計画としての施工計画書の項目内容を取りまとめて示したものである。これをみるとわかるように、実施計画段階においては、各作業の方法・手順、材料搬入、工程表、使用機械、使用材料、道路占用、公害対策、施工管理など、工事の実施に直接に必要なとされるすべての事項について具体的な施工計画諸元を定めることになる。これらを大別すると

- ① 各工事ごとの工種別数量、
- ② 各作業の方法・手順を示す作業計画、
- ③ 工事全体の実施スケジュールを示す工事工程表、
- ④ 各工事に投入する作業員、機械、材料の使用計画、

という内容になろう。

これらの中で、工種別数量は各工事における構造物のブロック・部位分割と仮設計画内容から各施工ユニットごとの使用材料数量として求められる。また、作業計画からは、各作業の施工数量と方法

表－ 4.1 地下鉄工事の施工計画書の内容と項目

<p><u>I 杭打設計画</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>貸与材料使用計画</li> <li>モルタル配合表</li> <li>布張り・つば張りの方法</li> <li>埋設物の防護方法</li> <li>連続土留杭溶接継手施工計画</li> <li>施工手順</li> <li>工程表</li> <li>鋼杭搬入計画</li> <li>道路占用計画</li> <li>残土搬出計画</li> <li>使用機械一覧表</li> </ol> <p><u>II 覆工計画</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>計画覆工高</li> <li>覆工桁架設計画 <ul style="list-style-type: none"> <li>桁配置図、貸与材料表</li> <li>桁応力計算書、桁受金物応力計算書</li> </ul> </li> <li>覆工板架設計画 <ul style="list-style-type: none"> <li>舗板配置図、スクリーン舗板配置図</li> </ul> </li> <li>施工手順 <ul style="list-style-type: none"> <li>桁受け金物、覆工桁架設</li> </ul> </li> <li>工程表</li> <li>桁搬入計画</li> <li>道路占用計画</li> <li>残土搬出計画</li> <li>使用機械一覧表</li> <li>使用材料表</li> <li>公害対策</li> </ol> <p><u>III 掘削工事計画</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>掘削計画 <ul style="list-style-type: none"> <li>掘削順序、掘削方法、敷付方法</li> <li>U型断面ポンプ室掘削</li> <li>埋設物付近掘削、剰土搬出</li> </ul> </li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>土留計画</li> <li>排水計画</li> <li>支保工計画 <ul style="list-style-type: none"> <li>全体配置計画</li> <li>ブラケット、切梁受溝形鋼、つなぎ材料架設計画</li> <li>腹起し切梁架設計画、裏込めコンクリート</li> <li>ジャッキアップ計画、土圧測定、その他</li> <li>材料搬入計画、材料投入計画</li> <li>貸与材料数量表</li> </ul> </li> </ol> <p><u>IV 構築工事計画</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>構築工種別数量表</li> <li>施工ブロックの割付け</li> <li>コンクリート工施工計画 <ul style="list-style-type: none"> <li>配合表、使用区分、レディミクストコンクリート</li> <li>コンクリート打設能力の検討、施工手順</li> <li>施工上の注意事項</li> </ul> </li> <li>型枠支保工計画 <ul style="list-style-type: none"> <li>使用材料表、型枠支保工計算書</li> </ul> </li> <li>鉄筋工施工計画 <ul style="list-style-type: none"> <li>材料規格、加工、組立て、施工仕様</li> <li>特殊部分の措置</li> </ul> </li> <li>中間杭受替え工施工計画</li> <li>鋼管柱設置工施工計画</li> <li>防水工施工計画 <ul style="list-style-type: none"> <li>施工仕様、施工上の注意、検査</li> </ul> </li> <li>埋戻し工施工計画 <ul style="list-style-type: none"> <li>埋戻し方法、施工上の注意</li> </ul> </li> <li>構築工程表 <ul style="list-style-type: none"> <li>全体工程表、(付)1ブロック工程表</li> </ul> </li> <li>仮設備計画 <ul style="list-style-type: none"> <li>電気、水道、コンプレッサー</li> </ul> </li> <li>施工管理計画 <ul style="list-style-type: none"> <li>管理体制、管理基準</li> <li>公害・保安対策</li> </ul> </li> </ol>
--	---

・手順にもとづいて必要な職種別作業員と投入機械機種が明らかとなる。そして、各職種の作業グループ（班）の構成数と投入機械系の構成を定め、それぞれの作業処理能力を求めることになる。

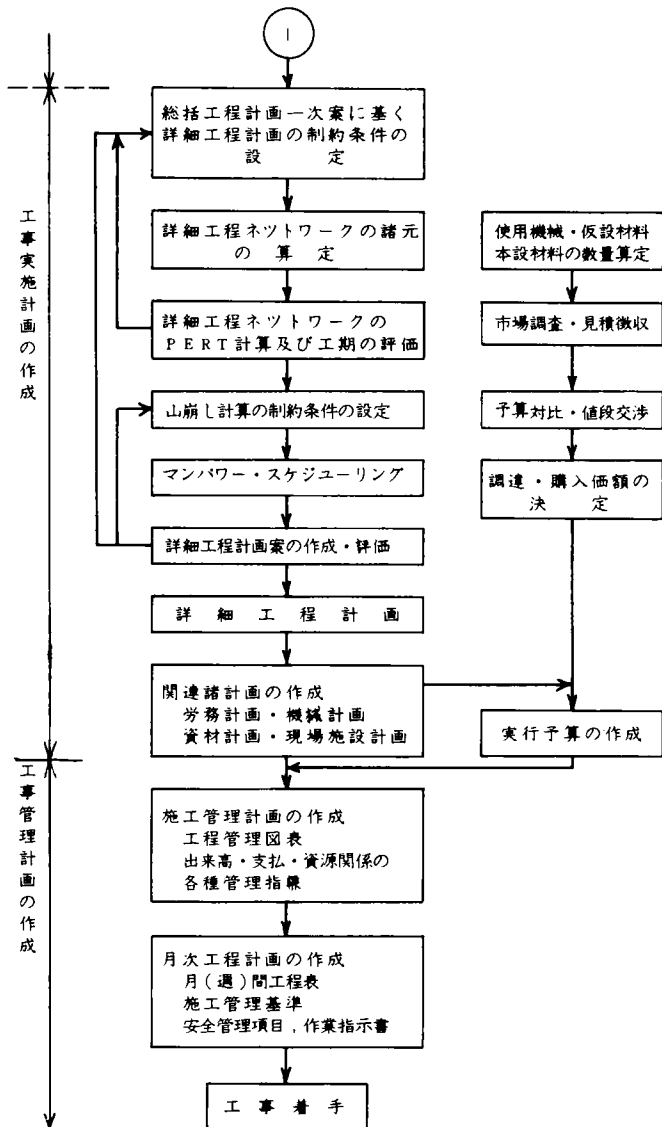
これらの計画諸元は各工事、各工種、各作業の個別的な施工計画、作業計画として求められるので

あり、指定された工事期間内で実行可能な計画内容であるかどうかは工事全体にわたる工程計画、つまり、詳細工程計画を作成することによってはじめて明らかとなる。この段階においては、工種レベルあるいは作業レベルの各作業の作業特性値はすべて求められているので、詳細工程計画として明らかにすべき事項としては、各作業の実施スケジュール、各種工事用資源の調達計画と運用スケジュールということになる。この中、資源調達計画は、各資源の運用スケジュールが求められると、それぞれの資源の調達方法（購入、貸与、賃借）や納入方法、材料の加工や機械の組立て、資機材の在庫・仮置き空間の広さなどを考慮して、資源調達の手配から資源使用までの必要日数を見込むことによって作成することができる。以上に述べた詳細工程計画の内容を処理フローとしてとりまとめると図－4.1のようであり、その基本的機能は次の2点に要約できよう。

- ① 各作業の実施スケジュールの策定，
- ② 各種工事用資源の運用スケジュールの作成。

## 2. 作業日程計画の作成に伴う課題

各作業の実施スケジュールの策定にあたっては以下の事項を考慮する必要がある。すなわち、工事全体を個々の工事に区分し、それぞれの工事内容を施工ブロック、施工ユニットおよび単位作業というように順次細分化していくとき、それぞれの施工ブロックの中での各施工ユニットの構築順序は施工技術的側面からはば一意的に定められ、それぞれの施工ユニットの中での各



図－4.1 詳細工程計画の位置づけと作成フロー

単位作業の施工順序も施工技術的側面からはば一意的に定められるということである。このことは、個々の工事、各工種、各作業の施工計画と作業計画を作成した段階では、工事内容を工種レベルもしくは作業レベルに分解することによって、単位作業を単位工程とし技術的な順序関係で構成されている全体工程ネットワークを作成することができるということを意味している。各施工ユニットにおける単位作業は技術的な順序関係によって前後の単位作業と順序づけられているが、工事施工のスケジュールという側面から見れば

- ① 先行作業や後続作業と時間的間隔を開けないで実施する必要がある作業，
- ② 当該施工ユニットの周辺に作業足場や資機材置場を必要とする作業，
- ③ 隣接施工ユニットの進捗状況によって作業着手が規制される作業，

などは、工事用資源の運用スケジュールに優先してこれらの制約条件を満足させる必要がある。また、特殊な場合として、

④ 技術的な順序関係で結合された施工作業が時間的に一部分ラップする状態で実施される作業，  
や、日々の施工活動という観点で捉えると、

⑤ 先行作業の片付け作業と後続作業の準備作業が一日の中に処理される作業，  
などが現われてくることにも注意しなければならない。

このように、工事内容を作業レベルの単位に細分化していったとしても、それは直接的に工事施工に関わっている作業のスケジュールが求められるのであって、その他の作業の取扱いについては別の観点から対処していく必要のあることはいうまでもない。

### 3. 資源使用計画の作成に伴う課題

工事用資源の運用スケジュールの作成にあたっては、各種工事用資源の運用特性を把握してそれを詳細工程計画を構成する各作業の作業特性値の中に適切に導入する必要がある。こうすることによって、詳細工程計画の代替案に対応する各種の工事用資源の必要数量や調達数量が求められ、それぞれの資源使用計画が作成される。

資源使用計画という観点から工事用資源を分類すると、

- ① コンクリートや鉄筋のような本設材料，
- ② 型枠や支保工のような仮設資材，
- ③ ブルドーザやクレーンのような建設機械，
- ④ 鉄筋工や大工や土工のような作業員，

の4種類に分けられ、それぞれ以下のような運用特性が認められる。

本設材料は構造物本体を構成し工事施工によって消費される資源であり、本設材料の投入スケジュールはそれを必要とする作業の実施スケジュールと一致する。ただし、材料の調達特性は材料種類に

よって異なる。コンクリート材料は、通常の場合、一日で必要数量を打設することになるので、その工事現場で打設されるコンクリート量はコンクリート工場の出荷能力を上回ってはならないことになる。鉄筋材料は工事の実施スケジュールが定められると、1ヶ月ごとの必要トン数が工事現場に搬入されることになるので、注文から生産・搬入までの日数と切断・加工の所要日数を見込んで調達計画を作成する必要がある。

仮設資材は構造物本体を所定の寸法と形状に構築していく過程で本設材料の支持や養生、作業空間の確保のために一時的に用いられるもので、その施工場所での使用が終ると他の場所での使用に供するために転用されることになる。鉄筋コンクリート構造物工事の場合、まず最初に支保工と型枠材料を所定の位置と寸法と形状に組立て、鉄筋材料を組立て、コンクリートを打設して一定の養生期間を経過したのち型枠と支保工は解体されることになる。つまり、型枠材の拘束日数は各施工ユニットの構築日数とはほぼ対応しており、各施工ユニットの構築スケジュールに合わせて転用されるために、型枠材の投入セット数とそれらの転用順序は工事全体の実施スケジュールを直接的にしかも強く支配するものとなる。

近年の土木工事施工においては建設機械の存在を抜きにして工事施工の合理化を論ずることはできない。本研究においても第3章で掘削工事の機械系の選定とスケジューリングの問題を取扱い、その重要性を指摘している。しかしながら、詳細工程計画におけるスケジューリングの問題について考える場合には、機械系の運用スケジュールは計画作成にあたっての与条件であり、むしろ、作業員の調達・運用計画の方が支配的要因であるといえる。とくに、詳細工程計画の対象となる鉄筋コンクリート構造物の工事においてこのことは顕著である。

さて、作業員は工事施工を実際に行っていく作業主体であり、通常は、職種別に一定数の作業員から成る作業グループ（もしくは班）を構成して作業グループ（もしくは班）を単位として施工作業を行うのが普通である。職種別に編成されている作業グループは同じ工種の作業のみを対象として施工作業を行い、各種材料の組立て作業や解体作業の実施の時だけ拘束されることになる。そして、各作業グループの移動には仮設資材の転用のように施工ユニット間での方向性の制約がないので、各施工ユニットの構築スケジュールに合わせて各作業グループの運用スケジュールを設定する必要はない。指定された工期内に工事が完了することを絶対的な制約条件として、できるかぎり少ない作業員数（もしくは作業グループ数）で工事を実施することのできるスケジュールを定めればよいことになる。ただし、作業員の運用スケジュールを定めるにあたっては、

- ① 各施工ブロック内および各施工ユニット内の技術的な順序関係、
- ② 型枠材等の仮設資材の運用順序を表す管理的な順序関係、

が先決的な制約条件としてすでに与えられており、それぞれの職種ごとに

- ③ 作業員の調達条件（調達期間と調達可能人数）、

の制約が存在する。

また、各職種における作業員の調達条件は、その地域における作業員の供給状況や他工事との競合関係などの制約を受けて、当該工事の実施スケジュールにおける需要条件、つまり工程上の必要度に見合ったものになるとは限らない。このため、実際の工事においては、各職種における作業の処理能力のバランスが適切でなかったり、割高な調達費用を要する場合も生じてくることになる。

詳細工程計画の作成に際しては、以上のように、各種工事用資源の運用特性と調達状況を適切に考慮した施工工程を組立てるとともに、各種工事用資源の投入に関わるすべての条件を考慮することができるよう種々のケースを比較検討することにより、総合的にもっとも望ましい工程計画代替案を選択することが肝要なことである。そのためには、工程計画作成に用いる計画手法の具備すべき要件として施工工程を分析的に捉えることが要求され、本研究においてはプレシーデンス型ネットワーク手法を導入した方法を提案することとする。

### 第3節 ネットワークモデルによによる詳細工程計画の作成方法

#### 1. 詳細工程計画へのネットワークモデルの適用性

土木工事における工程計画・管理へのネットワークモデルの適用性について考えると、工事施工の実務での利用にはいまだなお解決すべき課題は多い。筆者の実際の工事へのネットワーク手法の適用経験から、それは、図-4.2の処理フローの中で解決されるべき次の3つの事項に要約することができる。

- ① 土木工事の施工特性および工事計画・管理特性の定量化とそれらのネットワークモデルへの合理的な導入の方法，
- ② 土木工事施工の実態と整合するネットワークモデルのスケジューリングの方法の開発，
- ③ 工事現場の技術者が利用し運用するための工程計画・管理システムの設計。

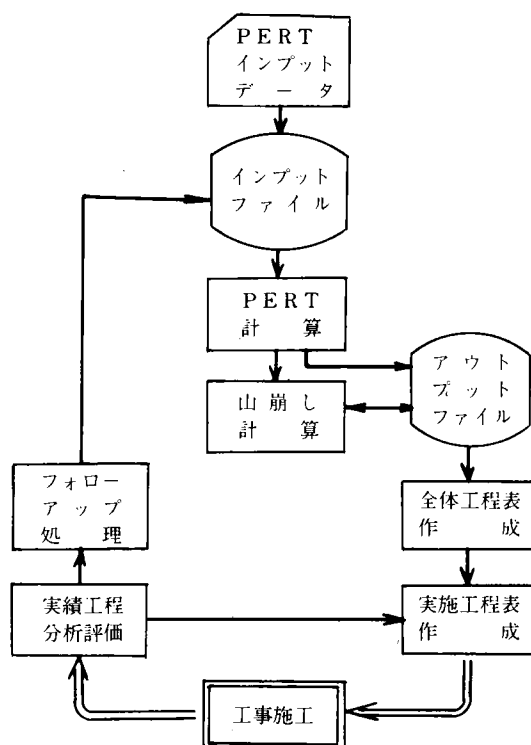


図-4.2 ネットワークモデルによる  
工程計画・管理のフロー

これらの課題の中で、第1の事項についてはすでに第2章、第3章および本章ですでに考察したとおりである。また、第3の事項については工事現場における工程計画・管理のツールとしてのシステム設計とその開発が主要な課題であり、本章の第4節および第5章、第6章において考察する。さて、第2の事項は、土木工事施工の実態に適合するネットワークモデルによるスケジューリングのアルゴリズムに関することで、詳細工程計画の作成に必要なとされる実際的できめ細かい処理について本節で考察する。PERT・CPMという名称で一般に知られているネットワーク手法がわが国に導入されてから約20年を経過するが、土木工事施工の工程計画・管理手法としての適合性に関してはいまだにその評価は一定していない。筆者はその一つの主要な理由として上記の3つの事項を上げたが、中でも第2の事項がそのもっとも大きい理由になっていると考えている。つまり、土木工事施工の実態、工程計画・管理の実態、それがモデル的に表わされたものでも差支えないが、をネットワークモデルを用いてどれほどまでに表すことができるかということが問題である。なかでもネットワークモデルのスケジューリングの方法が課題であると考えらる。

## 2. プレシデンス型ネットワークによるPERT計算法

プレシデンス型ネットワークでは、ネットワークを構成するノードによって工程上の作業を表し、ノード間の矢線は作業間の順序関係のみを表すことになる。したがって、この場合には、各ノードはそれぞれが表す工程上の各作業の所要日数に相当する時間的な長さを持っている。工程ネットワークのスケジュール計算は各作業 $s$ の所要時間 $d_s$ と矢線の結合状態を表す順序関係データを用いて行うことができる。

本研究においては、これまで明らかにしてきたように工程上の各作業を施工ブロック、構造物部位、工種、作業の組合せによって工事の施工内容との対応関係において工事全体の中での作業番号の一意性の保持ができるようにしている。工程ネットワークのインプットデータもそのような状態で入力されている。しかし、工程ネットワークのスケジュール計算の過程ではノード番号をそのようなコードの組合せで表す必要はなく、入力した作業データをスケジュール計算に都合よい順序にソーティングした後、1から $N$ までの連番号として作業番号 $s$ を表すことができる。このとき、作業番号 $s$ に直接に先行する作業の数を $PWN(s)$ 、直接に後続する作業の数を $SWN(s)$ とすると、順序関係データファイルのコード表示された作業番号を1からの連続番号に変換するプロセスの中で、次のようにしてネットワークデータのエラーチェックを行うことができる。

### 2.1 工程データのエラーチェック

#### (1) 作業番号の検索

順序関係データファイルにおいて先行作業データ  $PW$  および後続作業データ  $SW$  の中に作業デー



タファイルの作業番号  $s$  に該当する作業番号がない場合は,

$$PWN(s) = SWN(s) = 0 \quad (4.1)$$

(2) 順序関係データの切断状態の検出

工程ネットワークにおける工事開始作業の番号を 1 で表し, 工事完了作業の番号を  $N$  で表すと,

$$PWN(s) = 0 \quad \text{ただし, } s \neq 1 \quad (4.2)$$

$$SWN(s) = 0 \quad \text{ただし, } s \neq N \quad (4.3)$$

(3) 順序関係データのループ状態の検出

(4) 同じ順序関係の検出

(5) トポロジカルオーダリング

以上の手順でネットワークデータのチェックを終了すると, PERT 計算を行うのに便利のように順序関係データを次のように並べ換える。これは一般にトポロジカルオーダリングと呼ばれる。すなわち, 作業番号  $s$  の先行作業データの中での順位を  $PTO(s)$  とし, 後続作業データの中での順位を  $STO(s)$  とすると, 作業  $s$  について次式が成り立つようにするのである。

$$STO(s) > PTO(s) \quad \text{ただし, } s = 2, \dots, N-1 \quad (4.4)$$

## 2.2 スケジュールの計算法

プレシーデンス型ネットワークモデルを用いて工事施工の工程を表すとき, 各作業のスケジュールは次のようにして求めることができる。

(1) 最早スケジュール

作業  $s$  に先行する作業  $i$  の最早完了時刻を  $EF_i$  とすると, 作業  $s$  の最早開始時刻  $ES_s$  および最早完了時刻  $EF_s$  は次式で求められる。

$$ES_s = \max_i (EF_i) \quad (s = 2, \dots, N) \quad (4.5)$$

ただし, 作業  $i$  は作業  $s$  の先行作業で,  $ES_1 = 1$ 。

$$EF_s = ES_s + d_s \quad (s = 2, \dots, N) \quad (4.6)$$

ただし,  $\lambda = EF_N =$  工事完了時刻。

(2) 最遅スケジュール

作業  $s$  に後続する作業  $k$  の最遅開始時刻を  $LS_k$  とすると, 作業  $s$  の最遅完了時刻  $LF_s$  および最遅開始時刻  $LS_s$  は次式で求められる。

$$LF_s = \min_k (LS_k) \quad (4.7)$$

ただし, 作業  $k$  は作業  $s$  の後続作業で,  $LF_N = \lambda$ 。

$$LS_s = LF_s - d_s \quad (4.8)$$

ただし,  $LS_1 = 1$ 。

最早開始時刻 $ES_{ij} = t_i^E$	最遲完了時刻 $LF_{ij} = t_i^L$	最早開始時刻 $ES_s = \max(EF_i)$ ただし、 $i$ : 先行作業	最遲完了時刻 $LF_s = \min(LS_j)$ ただし、 $j$ : 後続作業
最早完了時刻 $EF_{ij} = ES_{ij} + D_{ij}$	最遲開始時刻 $LS_{ij} = LF_{ij} - D_{ij}$	最早完了時刻 $EF_s = ES_s + d_s$	最遲開始時刻 $LS_s = LF_s - d_s$
トータルフロート $TF_{ij} = LF_{ij} - EF_{ij}$	フリーフロート $FF_{ij} = t_j^E - EF_{ij}$	トータルフロート $TF_s = \min_j(ES_j) - EF_s$	フリーフロート $FF_s = \min_j(ES_j) - EF_s$

(a) アロー型ネットワーク

(b) プレシードンス型ネットワーク

図-4.3 スケジュール計算法の比較

## (3) 各作業のフロート

すべての作業について  $ES$ ,  $EF$ ,  $LS$ ,  $LF$  が求められると、それらの値を用いて、作業  $s$  のトータルフロート  $TF_s$  およびフリーフロート  $FF_s$  はる。

$$TF_s = LS_s - ES_s = LF_s - EF_s \quad (4.9)$$

$$FF_s = \min(ES_k) - EF_s \quad (4.10)$$

ただし、作業  $k$  は作業  $s$  の後続作業。

図-4.3 に、プレシードンス型ネットワークモデル<sup>2)</sup>とアロー型ネットワークモデル<sup>3)</sup>におけるスケジュール計算法を対比して示している<sup>4),5)</sup>。これから、スケジュール計算法に関しては、結合点時刻  $t$  を用いる必要があるかどうか両者の相違するところであることがわかる。

さて、以上に示したように、ネットワークモデルにおいてはすべての作業について、 $ES$ ,  $EF$ ,  $LS$ ,  $LF$  および  $TF$  という各種のスケジュール指標が求められる点が他の工程計画・管理技法と異なるところである。とくに、トータルフロート  $TF$  についてはその値が 0 である作業群によって構成される工程系列はクリティカルパスと呼ばれ、工程ネットワークの最長経路を表すことになる。したがって、詳細工程計画の作成にあたっては、工程ネットワークのクリティカルパスと施工技術上の課題を有する作業との関係および主要工事用資源の運用計画との関係を明らかにして、施工管理上の重点管理対象を把握することが重要である。通常の場合、工事の実施スケジュールは最早スケジュールで表すことが多く、こうした意味から、詳細工程計画における主要なスケジュール指標としては最早開始時刻  $ES_s$ 、作業所要日数  $d_s$ 、トータルフロート  $TF_s$  の 3 つの指標を取り上げればよいと考える。

### 3. 山崩し計算法を併用するネットワークスケジューリング<sup>6)</sup>

#### 3.1 従来の山崩し計算法の問題点

一般の土木工事では、工事用資源の調達と運用に種々の制約が加えられている場合が多く、そのようなケースでは工事全体の実施スケジュールを定める PERT 計算法のみでは不十分であるといえる。

工事に投入される工事用資源の調達数量に制約のある場合のスケジュール計算法として、山崩し計算法にもとづく PERT/MANPOWER が開発されている。これに対して、通常の PERT 計算法によるスケジュール計算は PERT/TIME と呼ばれることがある。

山崩し計算法では、まずはじめに、各種工事用資源の調達数量の制約を考慮しない状態で PERT 計算を実施して各作業のスケジュール指標  $ES$ ,  $EF$ ,  $LS$ ,  $LF$ ,  $TF$ ,  $FF$  を求める。次いで、改めて工事開始時刻から各時刻ごとの資源制約を満足する作業スケジュールを定めていくのである。その場合、それぞれの時刻においては、着手可能な作業群の中からある規則にもとづいて求めた優先順位にしたがって着手すべき作業を順次定めていくことになる。資源制約を満足しない状態になると、それらの作業はその時刻にはスケジュールされない。こうした手順を各時刻ごとに最後の作業がスケジュールされるまで繰返していくことになる。

優先順位の規則としては、通常の場合、トータルフロート  $TFs$  や、最遅開始時刻  $LSs$  や、作業所要日数  $d_s$  が用いられることが多い。しかし、こうした工程ネットワークの構造に由来する指標を用いることから、実際の工事における実施スケジュール算定のための手法として導入するには改善すべきいくつかの課題が存在している。その中のもっとも基本的な課題は、ネットワークモデルに山崩し計算法を適用して得られるスケジュールが現場技術者が定めた工程計画の作成方針や施工方法、作業方法にうまく適合しないスケジュールを与える恐れがあることである。

PERT 計算法を適用する段階においては、リードタイムの導入や作業間の順序関係の規制などによって現場技術者の工程計画作成方針や工事施工特性を満足しうる工程ネットワークを作成することができる。しかし、山崩し計算法を適用する段階では、PERT 計算法を適用して求めた作業スケジュール全体に対しては外部的な制約条件としての各種工事用資源の調達数量とそれらの投入期間が与えられ、時間的に並行して着手することが可能な作業群に対しては PERT 計算法の結果として求めたスケジュール指標にもとづく作業着手の優先順位の規則が適用されることになる。このために、作業着手の優先順位の規則の適用方法によっては、現場技術者の当初の工程計画作成方針や通常の施工手順にそぐわないスケジュールを与える恐れが生じることになる。また、各種工事用資源の調達可能な数量としては最大数量としての上限值と各作業における日当りの必要数量から定められる下限値とがあるのが普通であり、それらの上限値と下限値の間でもっとも望ましい水準を定めることも重要な課題となる。

以下においては、これらの諸問題に対する本研究の方法について考察を加えることとする。

### 3.2 作業の着手可能条件

各作業の所要日数と技術的および管理的な順序関係を与えて工程ネットワークが作成されると、まず PERT 計算を行って各作業の工程指標を求めることになる。工程ネットワークの山崩し計算は、

PERT計算結果にもとづいて、時刻ごとに各作業の着手可能条件を判定し、それを満足する作業に対して作業着手の優先順位の規則を適用して調達制限数を満たす作業スケジュールを求めることになる。このような山崩し計算法の手順をフロー図にとりまとめて示すと、図-4.4のようである。<sup>7)</sup>

各作業の着手可能条件は次のようにして判定する。すなわち、作業スケジュールを最早開始時刻で行うものとする、各作業の開始時刻が現在時刻 $t_0$ に等しいか、それより小さい作

業の中で、先行するすべての作業が終了している作業は着手可能であるとする。

$$ES_s \leq t_0 \quad (4.11)$$

ただし、作業 $s$ を後続作業とするすべての作業 $k$ は現在時刻 $t_0$ で終了していなければならない。

山崩し計算を行う場合には、式(4.11)を満足する作業 $s$ に対して何らかの作業着手の優先順位の規則を適用して1つずつ作業を取り出し、その中で次式を満足する作業を現在時刻 $t_0$ で開始することのできる作業としてスケジュールする。

$$m_s \leq R'_r(t_0) \quad (4.12)$$

ただし、 $m_s$ ：作業 $s$ の資源種類 $r$ の投入数量、 $R'_r(t_0)$ ：資源種類 $r$ の現在時刻 $t_0$ における使用

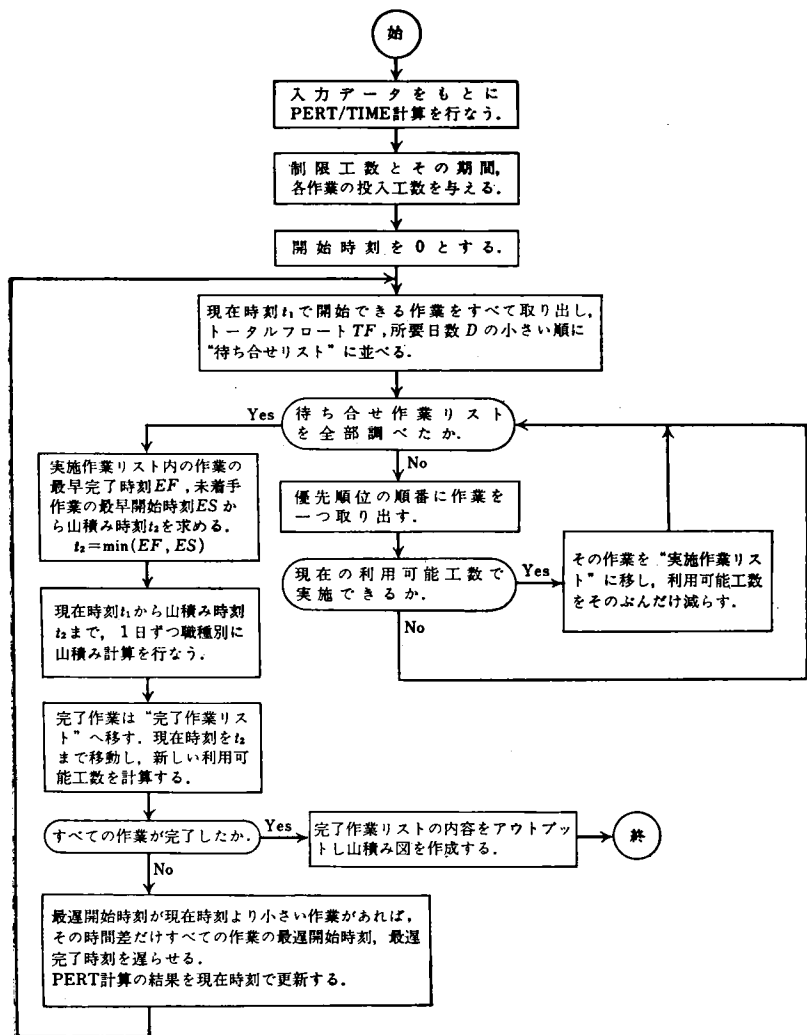


図-4.4 山崩し計算法の処理手順のフロー

可能数量。現在時刻ですでにスケジュールされている作業を  $s_0$ 、現在時刻における調達可能数量を  $R_r(t_0)$  とすると、

$$R_r(t_0) = R_r(t_0) - \sum_{s_0} m_{s_0} \quad (4.13)$$

### 3.3 作業着手の優先順位の規則

作業着手の優先順位の規則としては、普通、PERT計算の結果求められる以下のものをその指標として用いている。すなわち、

- ① 各作業の最遅開始日 ( $LS_s$ )、
- ② 各作業の全余裕日数 ( $TF_s$ )、
- ③ 各作業の自由余裕日数 ( $FF_s$ )、
- ④ 各作業のトポロジカルオーダーリングの内部番号 ( $N_s$ )、
- ⑤ 各作業の所要日数 ( $d_s$ )。

これらの諸指標を山崩し計算における作業着手の優先順位の指標として用いる場合に考慮すべき点は、それらの指標と工事所要日数との関係である。つまり、工期という日程的制約のもとで工程計画を作成するのであるから、工事所要日数を必要以上に延伸させるおそれのないものを優先順位の指標として用いる必要がある。工事所要日数に関係のある指標としては、最遅開始日  $LS_s$ 、全余裕日数  $TF_s$ 、トポロジカル・オーダーリングの内部番号  $N_s$  があり、これらの中から作業着手の優先順位を設定する指標を選択することが望ましい。

最遅開始日  $LS_s$  と全余裕日数  $TF_s$  との間には、最早開始日  $ES_s$  をも含めて式 (4.9) の関係のあ

ることがわかっている。当初のPERT計算結果から求めた値をそれぞれ  $LS_s^0$ 、 $TF_s^0$ 、 $ES_s^0$  とすると、

$$LS_s^0 = ES_s^0 + TF_s^0 \quad (4.14)$$

が成り立つ。

さて、山崩し計算において、現在時刻  $t_0$  に対して

$$ES_s^0 \leq t_0$$

となっている作業、すなわち、工事中資源の調達数の制約のために作業着手が遅れている作業については、現在時刻  $t_0$  が着手可能な時刻となるので、最早開始日  $ES_s$  を次式のように再定義するものとする。

$$ES_s' = t_0 \quad (\text{ただし、} ES_s^0 \leq t_0) \quad (4.5)'$$

このとき、式 (4.14) は次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} LS_s^0 &= ES_s' + TF_s^0 - (t_0 - ES_s^0) \\ &= ES_s' + TF_s' \end{aligned} \right\} \quad (4.14)'$$

$$\text{ただし、} TF_s' = TF_s^0 - (t_0 - ES_s^0) \quad (4.15)$$

つまり、工事用資源の調達数の制約のために作業着手の遅れている作業は、遅れた日数だけ全余裕日数が減少していることになる。したがって、全余裕日数を作業着手の優先順位設定の指標とするときには式(4.15)によって修正して用いなければならないことがわかる。しかし、現在時刻 $t_0$ で最早開始日を再定義しておけば、最遅開始日 $LS_s$ については当初のPERT計算結果の最遅開始日 $LS_s^0$ をそのまま用いることができる。

以上の考察から、山崩し計算において作業着手の優先順位を定める指標として、当初のPERT計算から算出される諸指標の中で、

(第1基準)    トータルフロート $TF_s'$ 、もしくは最遅開始日 $LS_s^0$ 、

(第2基準)    トポロジカルオーダーリングの内部番号 $N_s$ 、

を用いることとして、当初に立案した主任技術者の計画・管理方針と斉合の取れた作業スケジュールを求めることにする。

### 3.4 調達制限数の水準と工事所要日数の関係

一般に、各種工事用資源の調達数は工事場所の地域特性や要求される技能水準、他工事との競合関係等によって、調達可能な上限値が存在する。工事用資源、とくに作業員や機械の調達数は経済性の観点からは可能なかぎり少い方が望ましいが、土木工事施工は必ず指定工期という日程的制約の中で行わなければならない。したがって、各種工事用資源の調達数の水準は指定工事との関係、言いかえ

ると、工事所要日数との関係において決定しなければならない。

各作業の全余裕日数は、作業開始の遅れ日数だけ減少していき、開始時刻 $ES_s'$ が最遅開始時刻 $LS_s^0$ より大きくなった時点で負の値を取るようになる。

$$TF_s' = LS_s^0 - ES_s' \quad (< 0) \quad (4.15')$$

工事所要日数 $\lambda$ は、全余裕日数 $TF_s'$ が負となる作業 $s$ が現われた時点から延伸しはじめ、その延伸日数 $\Delta\lambda$ 、延伸後の工事所要日数 $\lambda'$ は次式で示される。

$$\Delta\lambda = |\min TF_s'| = |\min (LS_s^0 - ES_s')| \quad (4.16)$$

ただし、作業 $s$ は、現在時刻 $t_0$ をも含めてすでにスケジュールされた作業すべてを表す。

$$\lambda' = \lambda + \Delta\lambda \quad (4.17)$$

以上に述べた山崩し計算法を実際の工事に適用するにあたって注意すべきことは、複数種類の資源の山崩し計算を行う場合にその工事における各資源の投入水準と工程計画に示される工期との関係を把握しておかなければならないことである。このことを例示すると次のようである。図-4.5は、ある高速道路高架橋工事の詳細工程計画の作成に用いた工程ネットワークにおいて土工、大工、鉄筋工の各職種の投入水準を種々変えることによる工事所要日数の延伸状況を調べたものである。図中のケース番号は当工事における投入資源の中でベント杭打ち機械と型枠材の投入数を次のように変えて

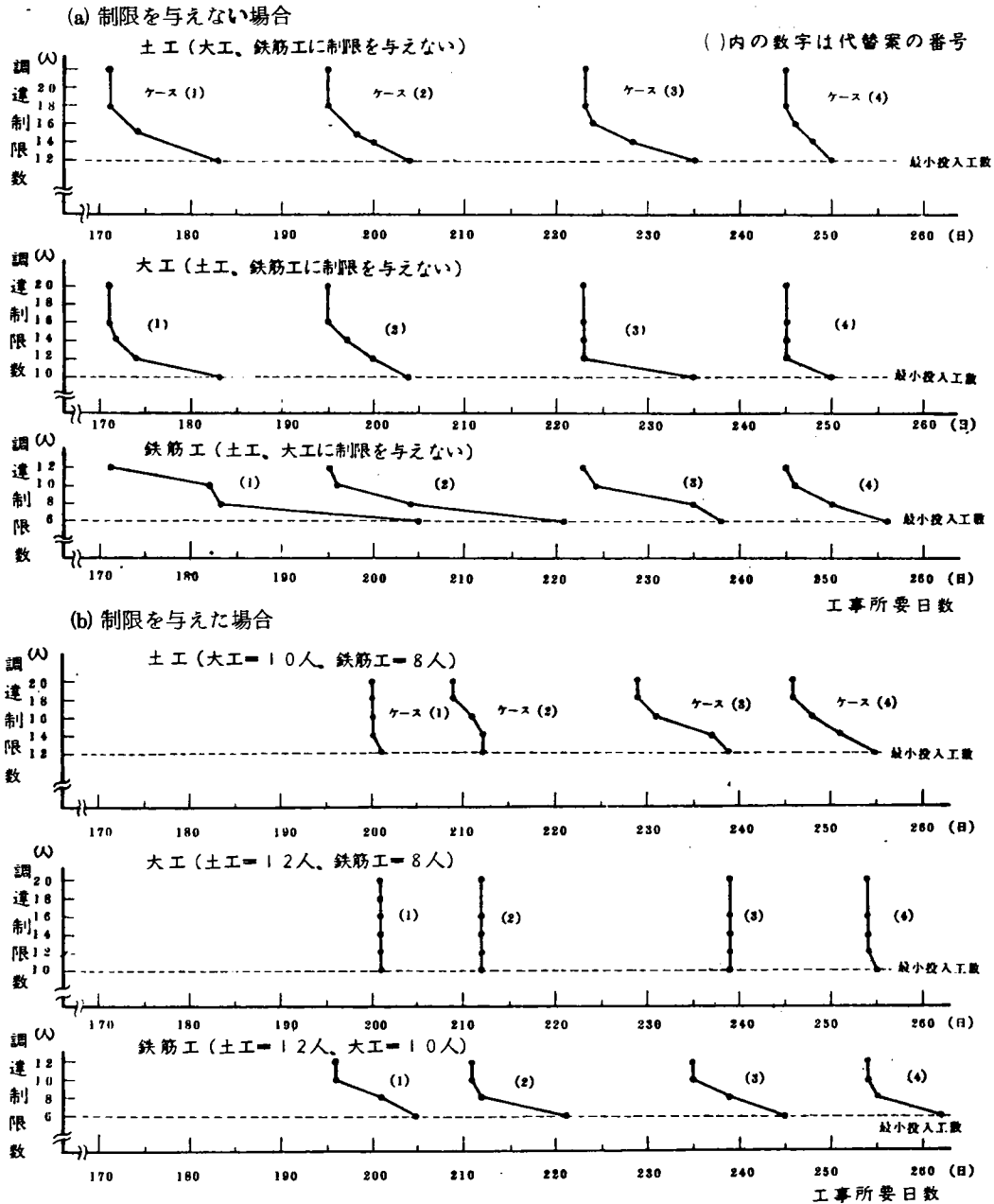


図-4.5 複数種類の資源に山崩し計算を適用した場合の工事所要日数の延伸状況

作成した工程計画代替案の番号を示す。

ケース(1) : ベント杭打ち機械 2台, 型枠材 6セット, 万能掘削機 2台

ケース(2) : ベント杭打ち機械 2台, 型枠材 6セット, 万能掘削機 1台

ケース(3) : ベント杭打ち機械 2台, 型枠材 4セット, 万能掘削機 2台

ケース(4)：ベント杭打ち機械 2台，型枠材 4セット，万能掘削機 1台

これらの各ケースについて，次の2つの場合について調べた。すなわち，(a) 1職種のみ投入数の水準を変えて他の職種については制限を与えない場合，(b) 他の2職種には実際の工事における投入人数の制限を与えておいて残りの1職種の投入人数の水準を変えた場合，である。

(a)においては，土工の場合と大工の場合は各ケースとも同様の所要日数の延伸状況を示すが，鉄筋工の場合には他の2職種の場合に比して工期の延伸状況の程度が大きい。しかし，工事所要日数の短い代替案の方が投入人数の水準を下げていくにつれて，非常に大きく工事所要日数を延伸させることがわかる。つまり，鉄筋工の投入人数の水準を低く抑えた場合にはベント杭打ち機械と型枠材の投入数を増加させて工事所要日数の短縮を図った効果を打ち消してしまうほどの工事所要日数の延伸を示すことになる。

一方，(b)の場合においては，土工12人，鉄筋工8人の制約を与えると大工の投入人数の水準を最小の水準にまで下げても工事所要日数はほとんど延伸していない。つまり，工期の面からは大工の投入人数を少なくしてもよいことがわかる。次に，大工を10人，鉄筋工を8人として土工の投入人数の水準を変えた場合には工事所要日数の大きい代替案の方が工事所要日数の延伸が大きくなっている。しかし，その場合でも，大工のみを変化させた場合の工事所要日数を越えてはいない。鉄筋工について投入人数の水準を変化させた場合には工事所要日数の延伸はもっとも大きくなっている。これらのことから，実際の工事で投入した土工12人，大工10人，鉄筋工8人というそれぞれの職種はほどよくバランスしている，つまり，同じ程度に工事所要日数の延伸に関与していることがわかった。そして，もし，各職種の投入数を種々の水準に変えたとすると，土工，大工，鉄筋工の順に工事所要日数の延伸に関与する程度が大きくなることが予想されるのである。

## 4. 山崩し計算法における作業スケジュールの評価法

### 4.1 工事施工の実行可能性の評価

これまでの考察は，山崩し計算法が具備すべき要件を明らかにし，それぞれの解法を体系的にとりまとめて示したものである。山崩し計算法を実際の土木工事に適用するにあたってのもう一つの重要な課題は，山崩し計算の結果得られた作業スケジュールが当初立案した作業計画から見て満足すべきものであるかどうかということである。つまり，山崩し計算の結果得られる作業スケジュールは，

- ① 各構造物部位の構築のための技術的な順序関係，
- ② 各種工事用資源の転用順序を示す管理的な順序関係，
- ③ 各作業における作業特性値，
- ④ 各種工事用資源の調達制限数の制約，



など、主として施工管理上の問題を明らかにしているのであって、作業実施にあたっての施工技術上の問題を評価したものではない。すなわち、

- ① 隣接する施工ブロックの施工状況との関係において、当該施工ブロックの作業実施のために新たに作業足場を必要とする作業スケジュールとなっていないか。
- ② 各構造物部位を構築する場合、施工現場では連続的に処理すべき作業群が、作業しない期間を間に含んだ作業スケジュールとなっていないか。

前者の場合、その作業のために新たに作業足場を組まなければならない工程になっているならば、作業計画の内容が当初立案したものと全く異なったものになってしまうばかりでなく、経済的にも工程的にも負担の大きい作業スケジュールを与えることになる。このような場合には、隣接する施工ブロックの下部の構造物部位が作業足場として利用することのできる工程とするように、技術的な順序関係を付加した工程ネットワークについて作業スケジュールを再計算する必要がある。そして、両者の代替案を工程的側面および経済的側面から比較評価しなければならない。

また、各構造物部位の構築に必要とされる作業は、通常、連続して処理する 경우가多いが、PERT/MANPOWERによるスケジューリングでは作業間の連続性よりも資源調達の制約による作業着手の優先順位の規則に拘束されて非連続的なスケジュールとなることがある。このような場合、構造物が仕掛け状態となって、構造物の品質や作業の安全性を確保することが困難となる。このような場合には、後続する作業が当該作業の完了後直ちにスケジュールされるように第1位の優先順位を与え、そのケースにおけるスケジュールを再計算する必要がある。そして、両者の代替案の工事所要日数への影響度を構造物の品質や作業の安全性の確保との関係において評価しておかなければならない。

## 4.2 資源山積み図の総合評価モデル<sup>8)</sup>

工程計画の各代替案は、上述のように工事期間の制約を満足することが第一義的な条件であるといえるが、そのような制約を満足する代替案の中から最終的にもっとも望ましい代替案を選択する指標として、ここでは経済性に関連する指標を取り上げることとする。つまり、構造物の品質や作業の安全性に関する評価は施工方法の立案や作業方法の具体的内容を検討する段階においてすでに行っているため、工程計画の作成段階で工事用資源の調達・使用に関する評価を行うことによって求められた工程計画代替案は工程、原価、品質、安全という主要な管理指標の目標値を満たすものであると考えるのである。

### (1) 詳細工程計画の代替案の評価法

工程計画の代替案作成にあたって、総括工程計画の段階においてはいくつかの種類の施工方法を比較・評価し、主要な工事用資源の投入数量と運用順序によって定まる構造物の施工順序を評価しておかなければならない。

施工方法や作業方法の異なる工程計画代替案を比較・評価するときは、必要とされる工種や作業内容が異なり、作業対象数量も変わってくるので、図-4.6に示すように各種工事用資源の必要数量を評価する必要がある。

すなわち、

$$R_l^d = \sum_{t=1}^{\lambda} R_l^d(t) \quad (4.18)$$

ただし、 $R_l^d$ ：資源 $l$ の総必要数量、 $\lambda$ ：当該代替案の工事所要日数、 $R_l^d(t)$ ：時刻 $t$ における資源 $l$ の必要数量。

また、いくつかの施工法の組合せをかえて比較・評価したり、代替職種による省力化の効果についても評価するときは、次式を用いるとよい。

$$R^d = \sum_l R_l^d = \sum_l \sum_{t=1}^{\lambda} R_l^d(t) \quad (4.19)$$

ただし、 $R^d$ ：評価対象であるすべての工事用資源の必要数量の総和。

もし、評価対象となる資源によって次元や単価が異なる場合には、上式の代りに次式を用いて所要金額を算出してその結果を比較することができる。

$$C_m^d = \sum_l C_l^d = \sum_l a_l \cdot \left( \sum_{t=1}^{\lambda} R_l^d(t) \right) \quad (4.20)$$

ただし、 $C_m^d$ ：評価対象の工事用資源の必要金額、 $C_l^d$ ：資源 $l$ の必要金額、 $a_l$ ：資源 $l$ の単価。

施工法や作業方法の比較・評価は、通常は標準的な施工工程を想定して行われるので、それらを決定したあとで工事の施工順序を主要な工事用資源の運用順序と対比させて評価する必要がある。そのときの評価指標としては次の項目をあげることができる。

- ① 各種資源の投入セット数（班数），
- ② 各種資源の転用順序（各施工ブロックの施工順序），

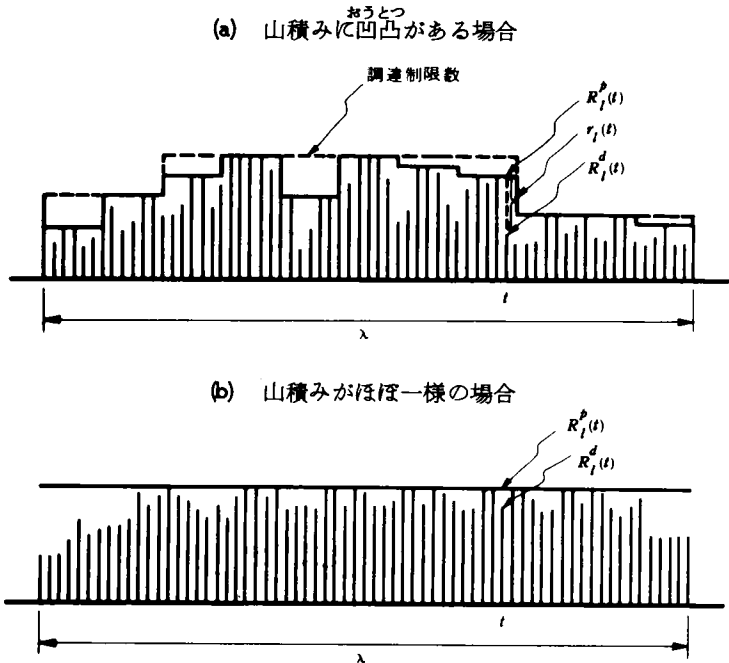


図-4.6 資源山積み図の評価モデル

③ 各セット（班）の転用回数，

主要な工事用資源の運用順序は各施工ブロックの施工順序を規定し，運用順序の取り方によって資機材の運搬作業に差が生じ，しかも施工のし易さにも影響してくることになる。また，仮設資材や建設機械の維持管理や平均的な施工速度の確保という観点からはそれぞれの資源の各セット（班）の転用回数がほぼ同水準になることが望ましい。

(2) 各種資源の運用計画の評価法

各施工ユニットや各单位作業の諸特性値がすべて求められて単位工程間の技術的な順序関係も既知となった段階においては，工事全体の各種工事用資源ごとの必要数量は工程計画の内容によらずほぼ一定であるとみなすことができる。一方，各種工事用資源の調達数量は，それぞれの資源の調達可能数量，投入期間，運用方法，各工種の施工速度のバランス，補助的な工法や作業の必要性などが関連して，工程計画の各代替案によって異なると考えるのが普通である。したがって，詳細工程計画の作成段階において，作業員，機械および資材の調達数量や運用方法を種々の方法で操作して工程計画代替案を作成するとき，次式を用いて各代替案を比較・評価するのがよいであろう。

$$R_l^p = \sum_{t=1}^{\lambda} R_l^p(t)$$

$$\text{または, } r_l = \sum_{t=1}^{\lambda} (R_l^p(t) - R_l^d(t)) = \sum_{t=1}^{\lambda} r_l(t) \quad (4.21)$$

ただし， $R_l^p$ ：資源 $l$ の調達数量の総和， $R_l^p(t)$ ：資源 $l$ の時刻 $t$ における調達数量， $r_l$ ：資源 $l$ の余剰数量の総和， $r_l(t)$ ：資源 $l$ の時刻 $t$ における余剰数量。

詳細工程計画においては，図－4.6に示したような山積み図や山崩し図を作成して，その形状の良否を見て各代替案の優劣を判断しようとする場合が多い。そのようなときには，上式に加えて次式を用いて各種資源の余剰数量の発生状態を評価することができる。

$$\left. \begin{aligned} \bar{r}_l &= \frac{1}{\lambda} \cdot r_l = \frac{1}{\lambda} \sum_{t=1}^{\lambda} r_l(t) \\ \sigma_l &= \sqrt{\frac{1}{\lambda} \sum_{t=1}^{\lambda} (r_l(t) - \bar{r}_l)^2} \end{aligned} \right\} \quad (4.22)$$

実際の工事において各種の工程計画代替案を立案し，評価する場合，評価対象として取り上げられる工事用資源の種類は限られた範囲に絞られる。また，施工法や作業方法にしても総括工程計画や詳細工程計画の各段階を通して逐次選択され，いくつかの案に絞り込まれてくるので，上述のような評価モデルを用いて各代替案を比較・評価することは容易に行いうるものと考えられる。上述の各評価モデルの有効性を検証するために，ある高速道路高架橋工事の詳細工程計画の工程ネットワークを利用することにした。この工事は図－4.5の作成に用いたのと同じ工事であり，その

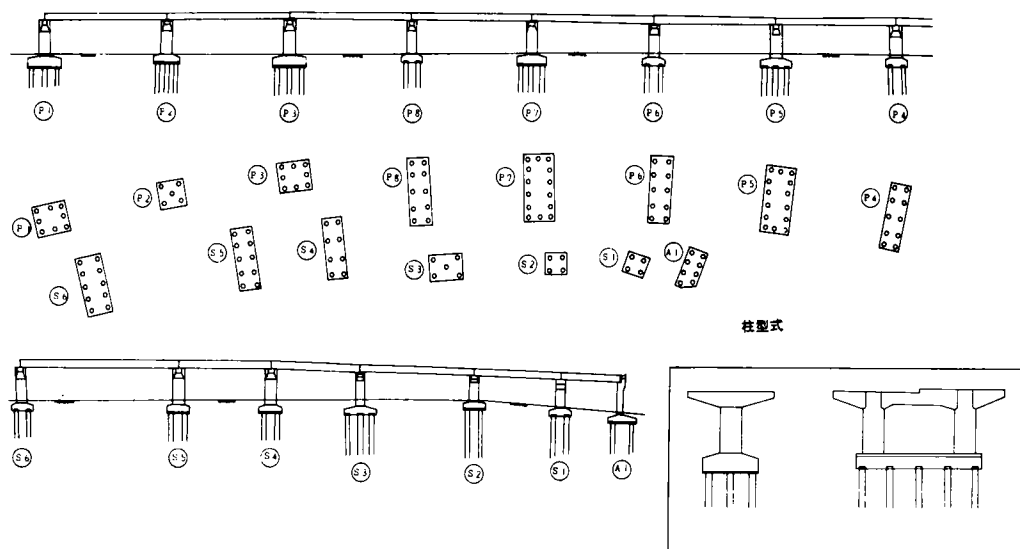


図-4.7 高架橋工事の平面図・側面図

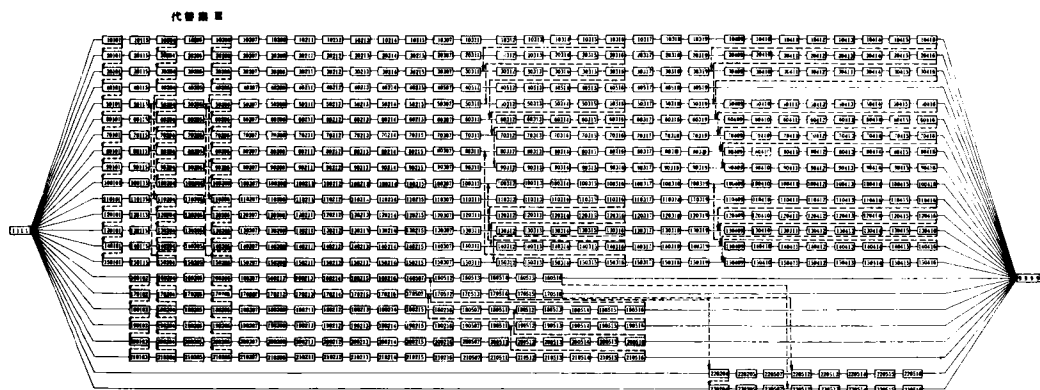
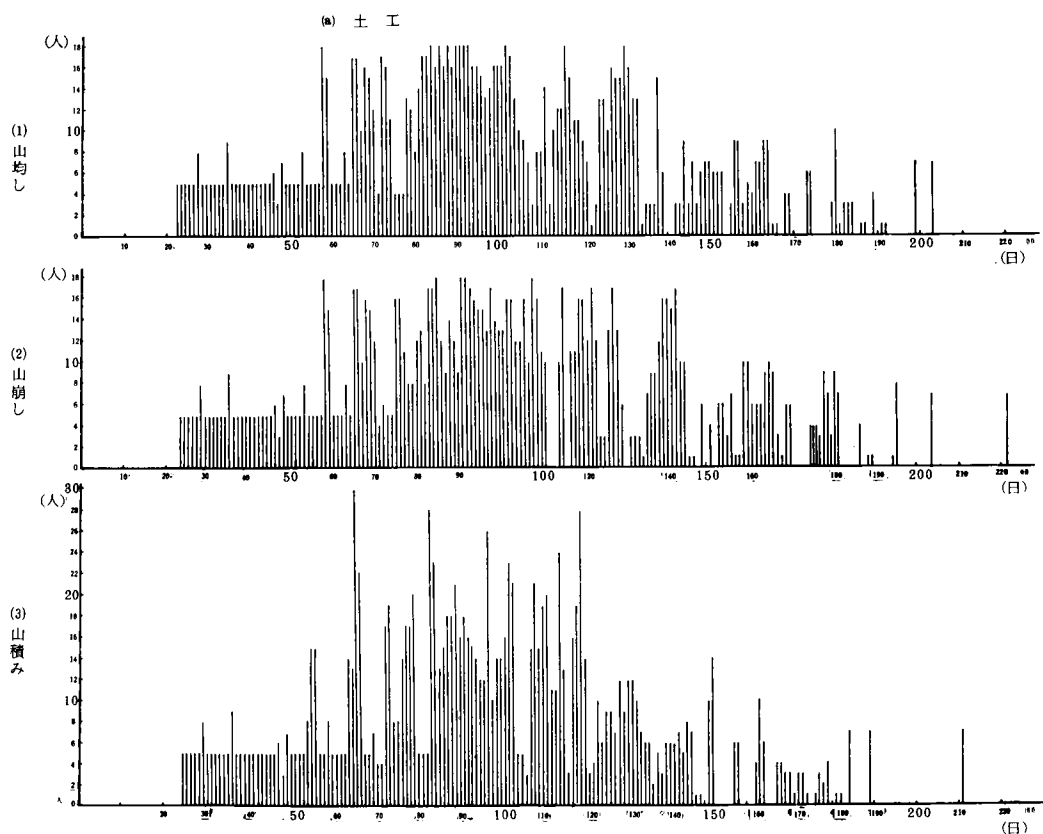


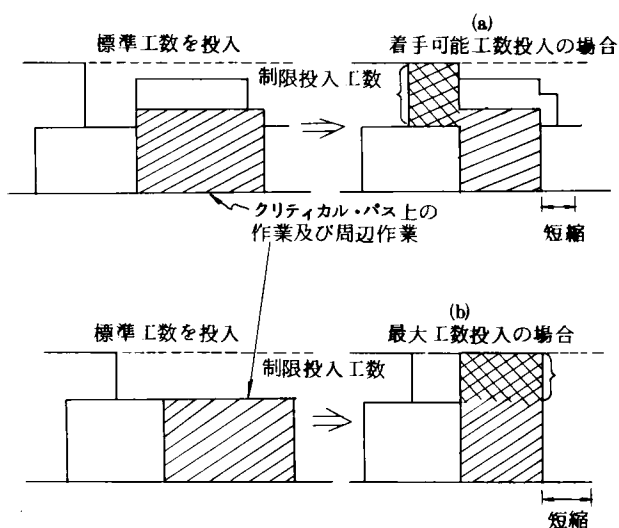
図4.8 評価モデルの検証のために用いた工程ネットワーク

平面図を示すと図-4.7のようである。また、評価モデルの検証に用いた工程ネットワークは図-4.8のようである。この工程ネットワークは図-4.5で示した4つの代替案の中で当工事の実施工程計画案として採用したケース(3)のものである。図-4.9はその工程計画代替案の土工の山積み図を示したものであり、図中の山均し法<sup>9)</sup>とは図-4.10に示すように作業員の投入人数を1作業の中で可変的に操作して、資源使用効率の向上と工事所要日数の短縮を図ろうとする方法である。図-4.9では、(1)山均し、(2)山崩しともに土工を18人投入する場合の山積み図であり、(3)山積みは土工の投入人数に制限を与えない場合の山積み図であることを意味している。



図－4.9 資源山積み図の評価モデルの検証に用いた土工山積み図

表－4.2は、これら3種類の山積み図に対して、本研究の評価モデルの適用性がわかるようにとりまとめて示したものである。この中で、 $f_l$ は作業員の総必要人数に対する総調達人数の比、すなわち、 $R_l^p/R_l^d$ を表している。この表－4.2の各指標の値と図－4.9の3種類の山積み図の形状とを対比してみるとわかるように、本研究の評価モデルは山積み図の分布形状の違いを定量的によく表し



図－4.10 山均し法の考え方

ていることがわかる。すなわち，総必要人数  $R_l^p$ ，総必要人数と総調達数の比率  $f_l$ ，余剰人数の平均値  $\bar{r}_l^s$  および標準偏差  $\sigma_l^s$  の各数値をみると，標準偏差  $\sigma_l^s$  を除いていずれも山均し，山崩し，山積みの順に大きくなっており，この順に作業員の投入人数の状況がバラツいたものでロスの大い分布形状であることを示している。このように，図-4.9に

示した資源山積み図の視覚的な相違が本研究で提案した評価モデルを用いることによって定量的な相違として表されることがわかる。

このように，詳細工程計画について，単に工期や各作業のフロートの状態を評価することができるのみならず，資源山積み図の状態についても定量的に評価することができる。このことが，土木工事の工程計画の作成にネットワークモデルを適用することの大きいメリットの一つであるといえる。

## 第4節 詳細工程計画の作成プログラムの設計

### 1. 工程計画の作成プログラムの構成の概要<sup>10)</sup>

PERT等のネットワークモデルによる詳細工程計画の作成をプログラムシステムのフェーズという観点から捉えると，図-4.11に示すように，次の4つに分けるのがよい。すなわち，

(フェーズ1)：PERTインプット

このフェーズは(フェーズ4)の工程表のアウトプットと対応して工程ネットワークの入力処理を行う。インプットフェーズは工程ネットワークのスケジュール計算のためのインプットデータ処理とスケジュール計算結果の作表・作図のためのインプットデータ処理とに分けられる。前者では，工事内容を施工ブロックおよび構造物部位に区分して各施工ユニットの施工数量を算出し，各施工ブロックの工程をパターン化してそれぞれのパターンの工程分解図から各作業の所要日数，投入員数，作業歩掛を求めて，それらを所定のフ

表-4.2 山積み図の評価モデルの適用例

土 工				
係数	手法	山 均 し	山 崩 し	山 積 み
	$R_l^p$	2 1 2 3	2 1 6 7	2 3 7 8
	$f_l$	1.5 5	1.5 8	1.7 4
	$\bar{r}_l^s$	3 7 7	4 3 0	5 8 8
	$\sigma_l^s$	1 5 6 1	1 7 6 4	1 6 3 1
工 期 日		2 1 8	2 3 5	2 2 3

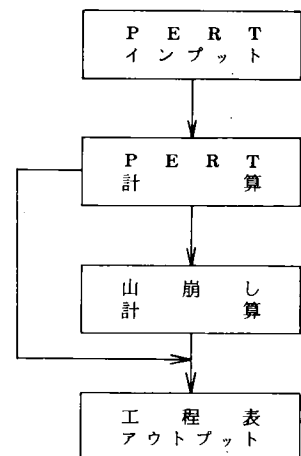


図-4.11 ネットワークモデルによるスケジュール作成のプログラムフェーズ

フォーマットで入力することになる。

スケジュール計算結果の作表・作図に関しては、工程表および資源山積み図の図化情報の処理が中心となる。施工ブロック、構造物部位、工種、作業、職種、材料などの作業内容の記述データについてはそれぞれの名称と表示記号および番号の参照表を作成することにより、漢字混りかな文字やアルファベット記号など判読しやすい方法で表示することが必要である。

#### （フェーズ２）：PERT計算

このフェーズは工程ネットワークのスケジュールを求めるためにPERT計算を行うフェーズである。すべての作業データと順序関係データが正しく与えられていると正しい工程ネットワークが作成されてPERT計算を行うことができる。これについては、すでに前節で考察した。

#### （フェーズ３）：山崩し計算

投入資源の調達可能数量の制約を考慮しなければ詳細工程計画の実施スケジュールを正しく決定できない場合には、PERT計算を行ったのちに山崩し計算を行って各種工事用資源の投入数量が調達可能数量の制約を満足するようにしなければならない。これについても、すでに前節において考察した。

#### （フェーズ４）：工程表のアウトプット

詳細工程計画のスケジュール結果は工事の実施目標を示すものであるから、その内容を工事の監督者もしくは作業員に伝達できる様式にとりまとめる必要がある。一般には、その内容としては

- ① 工程計画データリスト、
- ② 実施スケジュールの工事工程表、
- ③ 資源別山積み図、

が必要である。

工程計画データリストは、スケジュール計算内容のチェックや工程計画の更新・修正に必要であり、工程ネットワーク上の位置と作業内容が一見してわかり、また、取扱いやすい様式にすることが大切である。また、工事工程表は工事開始日を第一日とする正味日数による表示と暦日による表示の両方が必要である。休日の表示も必要である。ネットワーク工程表ではクリティカルなルートを示すことができるが、山崩し計算を施した工程表の場合は資源の投入制限による作業日程の遅延とクリティカルなルートとの関係をよく理解しておかなければならない。

資源山積み図については、工程上の作業による必要人数と補助的作業の必要人数および雑作業を加えた人数がその工事において実際に必要とされる作業員数であり、これと調達予定人数とを対比することが必要である。また、日々の作業時間との関係も考慮しておく必要がある。

## 2. 工程計画データ作成にあたっての前処理

当プログラムシステムは現場技術者が施工計画作成業務の中で工程ネットワークデータを作成する

ことを基本としている。そのための前処理として以下に示す諸表を用いて施工計画データを整理しておくことにより、ネットワークデータ作成の煩雑さを軽減するようにしている。

#### ① 工程分解図

各施工ブロックの作業構成，作業順序関係を現場用語を用いて図解する。それぞれの作業の所要日数，投入員数，作業歩掛を作業名称の下欄に記入する。各施工パターンの代表ブロックについてのみ作成する。

#### ② 数量総括表

各作業の施工数量を各構造物部位において工種ごと作業ごとに算出し，それを施工ブロックごとに区分して一覧表にとりまとめる。

#### ③ 作業歩掛表

各職種の作業歩掛は構造物部位と作業内容によって異なるため，歩掛タイプごとに区分して一覧表にとりまとめる。

#### ④ 表示記号参照表

スケジュール計算およびその結果の図表作成にあたって用いられる施工ブロック，構造物部位，工種および作業のそれぞれについて，それらの名称の表示記号や番号を参照するために一覧表としてとりまとめる。工事内容を統一的に把握するのにも役立つ。

#### ⑤ 資源番号参照表

各職種および各材料の名称と番号との対比を一覧表としてとりまとめる。

#### ⑥ 各月稼働日数，休日日数，通算日数表

スケジュール計算結果を工程表として図示するにあたって，経過日数のみならず暦日によっても表示する必要がある。そのために，当該工事における各月稼働日数を調査してそれぞれの推定値を一覧表としてとりまとめておく。

工程ネットワークデータの作成は一般に複雑であり，工程計画データの作成作業を施工計画作成業務の一環として行えるようにシステム設計にあたって考慮しておくことが重要である。上記の諸表はそのために作成したもので，施工計画作成業務で用いられる用語で工程ネットワークデータを表し，諸表の様式を各工程ネットワークデータの入力様式に合せて構成している。それぞれの用語や名称と工程ネットワークデータとして入力される記号や番号との参照表を用意することによって，工程ネットワークデータを体系的に作成することができる。

### 3. 工程計画の作成に必要とされる入力データ

ネットワーク手法にもとづくコンピュータプログラムを用いて工程計画を作成するにあたっては，以下に示すように，



① スケジュール計算処理に必要なデータ,

② スケジュール計算結果の図化処理に必要なデータ,

の2種類が必要である。

前者のスケジュール計算処理に必要なデータとしては,

- ① 作業データ,
- ② 順序関係データ,
- ③ スケジュール計算のための条件データ,
- ④ 山崩し計算処理のための条件データ,

が必要である。

後者の図化処理に必要なデータとしては,

- ① 漢字表示処理データ,
- ② 暦日表示のための休日データ,
- ③ 工程表図化データ,
- ④ 山積み図図化データ,
- ⑤ スケールデータ,

が必要である。

上記の各種入力データの処理とスケジュール計算処理を含めて、全体工程計画作成のためのプログラムシステムをフロー図にとりまとめて示すと、図-4.12のようである。

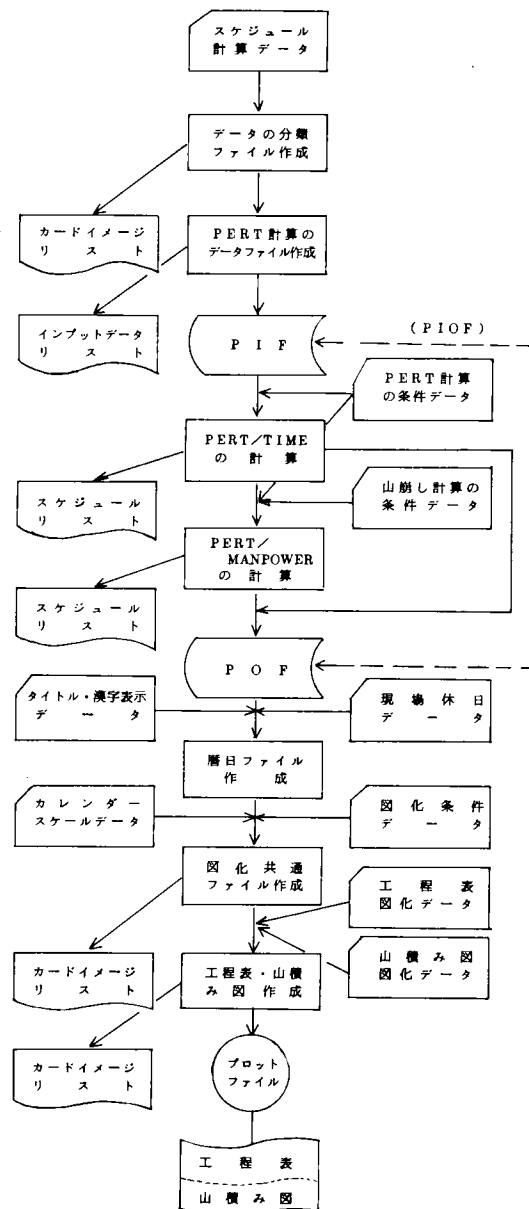


図-4.12 全体工程計画作成のプログラムフロー

### 3.1 作業データの入力処理

スケジュール計算処理にあたって必要とされる作業データとしては、基本的には,

- ① 作業番号または作業コード,
- ② 作業所要日数,

が与えられればよい。しかしながら、現実の問題として作業所要日数が直接的に与えられない場合がある。また、山崩し計算にあたっては各作業への投入資源の種類と数量が求められていなければならない。こうしたことから、作業データとして以下の項目を含めておく必要がある。

- ③ 職種または機械の番号コード、
- ④ 作業投入員数または台数、
- ⑤ 仮設材または本設材の番号コード、
- ⑥ 作業数量、
- ⑦ 作業歩掛。

各職種、各種機械および各種資材については、それぞれについて番号やコードの登録をするとともに、それぞれの作業投入数量は1日当りの値を与えることになる。

作業所要日数、作業数量、作業投入人数、作業歩掛の間には、式(2.1)に示したような関数関係が成り立っており、このことを利用することにより作業データ作成の種々のパターン、すなわち、

- ① 作業所要日数が与えられていない場合、
- ② 作業投入人数が与えられていない場合、
- ③ 作業投入人数を一定とする場合、

などのそれぞれに必要な作業データを生成することができる。

ここでは、各作業の番号またはコードを、工事施工の階層的なトリートメント構造分解である施工ブロック(A)、構造物部位(B)、工種(C)、作業(D)のそれぞれの番号またはコードの組合せによって表すことにしているが、それには種々の利点がある。すなわち、同じ施工パターンの同種作業については、構造物部位(B)、工種(C)、作業(D)の組合せ番号を見出しとして、これに対して基準施工ブロックにおける作業所要日数、職種、投入人数、作業歩掛と各施工ブロックの番号、作業数量を与えることによって、基準施工ブロック以外の作業データを自動的に生成することができる。大規模な工程ネットワークの作成にあたっては、工種レベルの全体工程ネットワークを作成するとともに各工種の作業内容と作業手順はサブネットワークとして表すことにより、作業レベルにおける詳細な全体工程ネットワークを少量のデータで効率的に生成することができる。さらに、各施工ユニットにおける工種レベルあるいは作業レベルの施工パターンとその内容が明らかであるならば、施工ブロックと構造物部位の組合せで表される施工ユニットの番号と施工パターンを指定することによって、工種レベルあるいは作業レベルで表される詳細な全体工程ネットワークの作業データを生成することができる。各施工ユニットの分割区分は設計図書の内容と対応して行うことができるので、工程ネットワークデータの蓄積によって、設計図書の内容から直接的に総括的なあるいは詳細な工程ネットワークを作成することも可能である。

他方、工種レベルあるいは作業レベルで求めた詳細工程ネットワークのスケジュールを構造物部位

ごとに、あるいは施工ブロックごとにとりまとめることによって、総合的な工程スケジュール、いわゆる、スケルトンネットワークのスケジュールを求めることができる。

工程ネットワークのスケジュール作成に際してリードタイムを考慮したい場合には、それを挿入する施工ブロックの番号とリードタイムであることを判断できる作業番号および所要日数を与えればよい。

### 3.2 順序関係データの入力処理

さて、工程ネットワークの順序関係には技術的な順序関係と管理的な順序関係のあることはすでに述べたとおりである。ネットワークデータの作成にあたっては、これらの順序関係はつぎのように取り扱われる。

技術的な順序関係は、各施工パターンごとに作成した工程分解図に示されている順序関係である。ここでは、これを施工パターンデータと呼ぶことにする。同種類のパターンの施工ブロックにおいては、同じ施工パターンデータを持つことになるので、各パターンの施工パターンデータとそれぞれのパターンに属する施工ブロックを指定することによって工事全体の技術的な順序関係データを求めることができる。

各施工パターンデータは、各施工パターンに含まれる各作業の順序関係を施工順序にしたがって配列したものである。各施工パターンにおける作業内容を工事のトリー構造分解図にしたがって表すときには、施工パターンデータは構造物部位、工種、作業の各レベルのコードを組合せた作業番号の順序列となる。同じ施工パターンに属する施工ブロックでは作業構成と作業間の順序関係は同じであるから、その施工パターンに属する施工ブロック番号と施工パターンデータを与えることによって、全体工程の中で一意性を保持し、かつまた、工事内容の階層性と施工内容を反映した作業番号で表された技術的な順序関係データを作成することができる。

さて、このような特徴を持つ施工パターンデータの作成にあたっては、次のことに注意する必要がある。すなわち、各施工ブロックは一般にいくつかの構造物部位に分けられ、施工ユニットが施工工程の単位となっているのが普通である。また、各施工ユニットにおける作業工程はその施工ユニットで必要とされる工種の作業工程を単位としてそれらを施工順序にしたがって直列的あるいは並列的に配列したものである。つまり、施工パターンデータは、各工種の作業を中心とするひとまとまりの作業工程（ここではこれを工程ネットワークにおけるルートと呼ぶことにする）を直列的に、あるいは並列的に配列したものであるといえる。したがって、施工パターンデータの作成にあたって、

- ① 後続作業、
- ② ルート内での順序関係の区切りと1ルートの終り、
- ③ 施工ユニット内での区切りと1施工ユニットの終り、

- ④ 1 施工パターンデータの終り，
- ⑤ 技術的な順序関係データの終り，

を明示的に表示することによって，直列・並列の複合した技術的な順序関係データは直列の順序関係データの集合したものとして表すことができるのである。

次に，管理的な順序関係データについて述べることにするが，管理的な順序関係データは，工事全体の中でくり返し転用されていく工事用資源の運用順序を表すものである。転用対象となる工事用資源，とくに，仮設資材については資材の投入・組立，拘束・使用，解体・運搬という手順で利用される。仮設資材の運用順序に注目するならば，現在拘束・使用している施工ユニットの作業工程の中での解体作業と次に投入予定の施工ユニットの作業工程の中での組立て作業がわかれば資材運用の順序関係を規定することができる。すでに述べたように，すべての作業は施工ブロック，構造物部位，工種，作業の4つのレベルのコードの組合せによって全体工程の中で一意性のあるコードとして表される。これらのことを考慮するならば，仮設資材の転用順序を表す管理的な順序関係データは先行施工ユニット（構造物部位）における仮設資材種類（工種）の解体作業（作業）と後続施工ユニット（構造物部位）における同じ仮設資材種類（工種）の組立て作業との間の順序関係データおよび順次転用される施工ブロック間の順序関係データを対応づけて与えればよいことがわかる。

### 3.3 スケジュール計算のための条件データ

スケジュール計算のための条件データは，PERT計算に関するものと，山崩し計算に関するものとに分けることができる。

PERT計算に関しては，

- ① 工程計画作成時における全体スケジュールの計算，
- ② 工程管理時における今後工程のフォローアップ計算，

のいずれであるかを選択するための条件データと，スケジュール計算の内容，つまり，

- ① PERT計算まで，
- ② PERT計算結果によるデートライン工程表の作成まで，
- ③ 山崩し計算まで，
- ④ 山崩し計算結果によるデートライン工程表の作成まで，

のいずれの段階であるかを指定するための条件データが必要である。フォローアップ計算およびデートライン工程表の作成に関しては次章において詳述することとする。

すでに考察したように，山崩し計算法の適用にあたって考慮すべき事項としては種々のものがあり，山崩し計算処理に際しては以下にとりまとめて示した事項の選択に関する計算条件データが必要となる。

(1) 作業着手の優先順位の基準の選択

以下の項目の中から、第1から第3までの基準を選択し、作業着手の順位づけを行う。

- ① トポロジカルオーダリングの番号  $n$  の順、
- ② 最遅開始時刻  $LS$  の小さい作業の順、
- ③ 作業日数  $d$  の小さい作業の順、
- ④ 外部から与えられるプライオリティの大きい作業の順。

(2) 優先順位の計算方法

- ① 毎時刻に第1から第3までの指標の値を各作業について計算し、それらを用いて順位づけを行う。
- ② 山崩し計算に入る前に行ったPERT計算結果をもとに求めた第1から第3までの指標の値を用いて順位づけを行う。

(3) スケジュール計算の方向

- ① 工事開始日から山崩し計算を行う。
  - ② 工事終了日から山崩し計算を行う。
- ただし、②の場合、工期終了日を指定する必要がある。

(4) スケジュールの表示方法

- ① 工事開始日を第1日とする実働日（絶対日）によって表示する。
  - ② 工事開始日の年月日を与えて暦日によって表示する。
- ②の場合には休日を考慮することになるが、工種あるいは職種によっては休日には作業を行わないものもあり、そのような工種あるいは職種で用いられる資源種類の山崩し計算は特別の考慮が必要となる。

(5) 山崩し計算を適用する資源の選択

- ① 資源の区分（職種と材料の区別）と種類、
- ② 投入制限数量と投入期間。

山崩し計算にあたっては、以上の(1)～(4)の事項について適宜必要な項目を選択のうえ指定して与えることになる。しかし、(1)および(2)については、(3)～(5)が同じであっても、適用する項目によって異なるスケジュールが求められることが少なくない。従来の山崩し計算プログラムにおいては適用上の注意事項としての配慮が十分でなかった。そこで、本研究では、山崩し計算法自体が内包するこれらの問題を極力避けるために、必要な項目を指定してそれぞれの山崩し計算結果の内容を比較検討することによって、工期の延伸、資源の運用状況、作業着手の状況などからもっとも望ましい案を選択することができるようにしたものである。

### 3.4 スケジュール計算結果の図化に必要なデータ

全体工程ネットワークのスケジュール計算結果は工程表および資源山積み図として表示することにより、工事全体の施工方針と作業日程および各種投入資源の使用予定を工事担当者に知らしめる必要がある。したがって、工程表や資源山積み図は工事のスケジュールの内容を必要かつ十分に盛り込んだものであると同時に、スケジュールの内容が一見して理解できかつ使用しやすいものでなければならない。こうした要件を具備する工程表や資源山積み図を作成するためには、以下のようなデータを与えを必要がある。すなわち、

- ① 図化共通データ、
- ② 工程表図化データ、
- ③ 資源山積み図図化データ。

#### (1) 図化共通データの作成

工程表および資源山積み図の図化に必要な共通のデータとしては、タイトルや工程表の内容説明や資源名を漢字表示するためのデータ、工事のスケジュールを暦日表示するための休日データ、工程表や資源山積み図の大きさを定めるためのスケールデータがある。

漢字表示処理データは、

- ① タイトルデータ（工事名称、図表名称、作成年月日）、
- ② 内容説明データ（施工ブロック、構造物部位、工種、作業、職種、機械、材料）、

の2種類が必要である。タイトルデータは工事名称や図表名称をそれぞれ所定の位置に書かせるためのものである。内容説明データは、工程表の作業名称を工事内容のトリー構造分解にしたがって表示し、資源山積み図の表示内容を示すためのものである。作業名称の表示にあたっては、施工ブロックの呼称は英数字で表されることが多く施工ブロック番号と名称とを対応づけて入力すればよいが、構造物部位、工種、作業については通常は漢字まじりかな表示の呼称が用いられるためにそれぞれのコード番号と対応させて各文字の一字ごとに漢字コードを与えることが必要である。こうした制約があるために、それぞれの名称の入力にあたってはコーディング用紙に漢字記入欄を設けたり、各名称の文字数に制限を設けるなどの工夫が必要となる。ただし、職種や機械、材料などの標準的なものについては工事のつど入力しなくても漢字表示ファイルとしてプログラム内部に持たせることも可能である。したがって、工事種類、構造物種類、施工ブロック、構造物部位、工種、作業の分類体系と呼称の統一、つまり標準化が行われてくれば、それらのコード番号を指定し与えるだけで漢字表示のためのデータを作成することが可能となる。

工程ネットワークのスケジュール計算は各作業の所要日数を基礎に行うため、その結果求められる作業日程は実働日数で表されることになる。これを暦日表示するためには、

- ① 工事開始の年月および所要日数、

② 各月の実働日数および各月第1日の通算日数，

③ 各月の休日（土曜日，日曜日，祝祭日，特別休日），

に関するデータを与えなければならない。各月の実働日数は各月の休日日数と天候等の理由で作業不能となる日数を引いたものである。作業不能日数はその地域における降雨記録と過去の類似工事の実績とから推定して概略の値として求めることができる。各月の休日は各施工組織の休日規定および夏期・冬期の特別休日を考慮のうえ祝祭日を休日とするか否かを定めることによって決められることになる。全体工程表は日単位で表すのが普通であるから，まず，各月の実働日数をもとに年割線および月割線を描き入れて各月の長さを定め，それに対してそれぞれの工事に都合のよい方法で暦日を表示するのがよいであろう。その場合，降雨等にもとづく作業不能日の取扱いが問題となるが，不確定ではあるが月々幾日か見込まれる作業不能日を月末に集めることにより工程管理上は安全側になるように設定するのがよいと考えられる。また，養生のように休日や作業不能日にも進行する作業やコンクリート打設のように生コンクリート工場の休日を避けるべき作業などがある。厳密には，これらの作業については休日との関係において作業日程を取扱うことが望ましい。

このように考えると，実働日による工程表の表示は休日も作業不能日もともに月末に集めた場合の暦日表示に等しいことがわかる。また，休日の取扱いについては，休日となる日付を消去して日数は実働日数を用いる場合と，実働日数で求めた各月の長さを各月の暦日日数で除したものを1日の長さとして休日および作業不能日にそれぞれの印を付すという2つの方法のいずれによるかはその時の状況によればよい。このように，日程の暦日表示の方法には種々のものがあり，必要に応じて適切な方法を選択することができるように準備しておく必要がある。

さて，工程表および資源山積み図は，工事種類，工事規模，工事内容の複雑さや難易さ，さらに投入すべき工事用資源の種類の多様さによって，図示される大きさが異なってくるのに対して，図化機（プロッター）で用いられる用紙の規格は一定である。このため，工程表および資源山積み図の作成にあたっては，表示内容がバランスよくしかも見易い標準の規格を設定するとともに，表示内容が全体として用紙に納まるようにスケールデータを与える必要がある。

## (2) 工程表図化データの作成

全体工程表の図化は，

① 作業のレベルのスケジュールを表示するディテール工程表，

② 施工ユニット（構造物部位）のレベルでスケジュールを要約的に表示するサマリー工程表，  
に分けられる。

工程表の図化にあたって必要とされるデータは，

① 四角枠で表される作業の縦幅，

② 施工ブロック数，

③ 各施工ブロックにおけるライン数，

④ 表示したい転用順序の先行および後続の作業名（構造物部位，工種，作業），先行および後続の施工ブロック番号，

⑤ 特に表示したい順序関係（施工ブロック，構造物部位，工種，作業），

である。

サマリー工程表においては，同じ施工ブロック番号および構造物部位番号を持つ作業の中で，もっとも小さい最早開始時刻を構造物部位レベルで表された工程，すなわち，当該施工ユニットの開始時刻とし，もっとも大きい最最終了時刻を当該施工ユニットの終了時刻とするものである。スケルトンネットワークと呼ばれる通常の概略的な工程表が概念的な規定しかされていないのに対して，ここでサマリー工程表と呼ぶものは構造物の構築過程，つまり各施工ユニットの日程を表しており，工程計画・管理における目的を明確にしている。

### (3) 資源山積み図の図化に必要なデータ

各作業のスケジュールが決定されると，各作業で用いられる資源の種類と投入数量とから資源種類別に山積み図を作成することができる。こうして作成される山積み図は工程ネットワークに表されている作業の各時刻における必要数量を示すものであって，実際には工程ネットワークに表されていない施工作業や材料の加工・運搬・管理等の間接的な作業や日常の雑仕事等も必要とされる。また，作業員に注目した場合，他職種によって代替させることが可能な作業，多能工を投入することが可能な作業など種々のものがある。さらに，作業員等の運用方法を検討するためには各時刻で必要とされる作業員はどの作業に投入することになっているか，月々の投入数量はどのようなものであってそれに対してどのような購入計画を立てればよいか，そして，累積の使用数量はどのようなになっているかなど，実に様々なことを知っておく必要がある。したがって，資源山積み図の作成にあたって以下のような内容のものを作成することによってそれらに関する有効な情報を提供する必要がある。

① 工程ネットワークから直接的に作成される資源山積み図および累積曲線，

② 延必要数量や代替職種の使用を考慮するための各種資源数量を加えた資源山積み図および累積曲線，

③ 投入対象となる作業内容を区分した資源山積み図，

④ 間接的な作業，補助的な作業，雑作業に必要とされる作業員数を考慮して，①の山積み図に一定比率もしくは一定数の作業員数を加えた山積み図。

これらの山積み図を作成することにより，各種資源の投入数量が求められ，それに対して単価あるいは施工単価を与えることによって概略の出来高金額を表すグラフを作成することもできる。また，作業員の投入人数や各作業の施工数量と工事全体の投入人数，施工数量との比率を求めること



により、工事の概略の進捗率を推定するのに役立つことができよう。また、それぞれの資源について単価を与えて時刻の経過にしたがって累積金額を求めることによって、各種資源の出来高曲線を作成することができる。

追加工数の与え方としては、

- ① 指定期間内で一律に一定数を追加、
- ② 指定期間内で山積み図を平滑化するように谷部分に追加、
- ③ 指定期間の総追加人数を定め、一律に追加、
- ④ 指定日にのみ一定作業人数を追加、

など種々の方法が考えられるが、作業員を追加する必要性、職種、作業内容に応じたタイプのものを選択して与えなければならない。

山積み図の作成にあたっては、以上の諸点を考慮したうえで、資源の区分（職種、材料種類）、資源番号、名称、山積み数量の最大値とその図面上の長さ、山積み図の大きさなどを指定することになる。

### 3.5 スケジュールデータファイルの内容と更新処理

ネットワーク工程表および資源山積み図として必要な内容と様式は、前述のようにして決定することができるが、ネットワークスケジュールの計算や図化処理にともなって用いられるデータファイルの内容をとりまとめて示すと、次のようである。

- ① ファイルデータ：ファイル番号、総作業数、工事所要日数（PERT計算および山崩し計算の暦日日数）、
- ② 作業データ(1)：作業番号、作業コード（A：施工ブロック、B：構造物部位、C：工種、D：作業）、所要日数、投入人数／日、図化の表示様式、施工パターンの区分（作業コードと対応）、図化ブロック番号、サマリーコード（A－Bコード）、

作業データ(2)：スケジュール計算のケース番号、*ES*、*EF*、*LS*、*LF*、*TF*、*FF*、*ST*（山崩し計算による開始時刻）、*FT*（同終了時刻）、トポロジカルオーダリング番号*N*、

作業データ(3)：資源種類の番号（作業員、機械、仮設材料、本設材料）、作業歩掛番号、作業数量（総数量、日当り数量）、作業人数（総人数、日当り人数）、

- ③ 順序関係データ：順序関係の種類（技術的、管理的）、ルート番号の順序関係、作業番号の順序関係、図化様式の区分、作業の連続区分、

- ④ 歩掛データ：資源種類の番号、作業歩掛番号、作業歩掛の値。

これらのデータファイルを用いて種々の代替案および計算ケースについて工程ネットワークのスケジュールを求めていくのであるが、工程計画の作成段階や施工実施段階においてネットワークデータ

の変更や修正を必要とする場合が生じてくる。このとき、できるかぎり少い手間であつ容易に変更・修正処理を行えるようにしておくことは、工程計画・管理にネットワーク手法を適用するにあたって肝要であつ実際の効用のあることである。

ネットワークデータの変更・修正処理は、ファイルデータ、作業データ、順序関係データ、歩掛データのすべてに関係しており、実際のプログラムシステムにおいては上述の項目すべてに必要な変更・修正を行うことができる。そうした処理を効率的に行うために、変更・修正を行うデータ項目のリストを出力させ、そのリストにしたがって、データの変更、追加、削除の区分を指定し必要な修正を行うようにしている。

作業データの修正処理においては、

- ① 作業番号、または作業コードのいずれによつても修正することができる。作業番号が連番のときはFROM～TO～で処理できる。作業コードのA・B・C・Dは任意の組合せの変更ができる。
- ② 各項目の修正・追加は変更部分のみの記入でよい。作業データの削除と投入資源の削除とは区別して行うことができる。

また、順序関係データの修正処理においては、

- ① 未登録の順序関係データの追加を行いやすく工夫し、変更の場合は新しいデータを記入するだけでよい。
- ② 順序関係の図示やブランク化の変更を指定することができる。
- ③ 順序関係データの削除は作業番号表示の場合には連番に対する削除処理ができる。また、計算ケースごとのデータの削除もできる。

など、修正処理の手間を簡略化するよう配慮している。

## 第5節 地下鉄駅部工事における適用事例

### 1. 工程データの作成

ネットワークモデルによる詳細工程計画作成の事例として取上げた工事は大阪市東部に位置する地下鉄駅部工事である。この工事についてはすでに総括工程計画の適用事例として第3章で説明したとおりである。

工事施工にあたって、本体構造物を、まず13の施工ブロックに分割し、さらに、それぞれの施工ブロックを底床部、中床部、上床部に分けて考えたが、最終的には表-4.3に示すように底床、梁・ハンチ、中床カベ、中床スラブ、上床カベ、上床スラブに分けることとした。

表-4.3は、施工ブロックおよび構造物部位の区分による主要工種の施工数量をとりまとめて示し

表－ 4.3 施工ブロック，構造物部位の区分による主要工種の施工数量

ブ ロ ッ ク	底 床			梁・ハンチ			中床カベ			中床スラブ			上床カベ			上床スラブ			上床	
	型 枠	鉄 筋	コンク リート	型 枠	鉄 筋	コンク リート	型 枠	鉄 筋	コンク リート	バル& 型 枠 支保工 (空㎡)	型 枠	鉄 筋	コンク リート	型 枠	鉄 筋	コンク リート	型 枠	鉄 筋	コンク リート	型 枠 支保工 (空㎡)
	(㎡)	(t)	(㎡)	(㎡)	(t)	(㎡)	(㎡)	(t)	(㎡)		(㎡)	(t)	(㎡)	(㎡)	(t)	(㎡)	(㎡)	(t)	(㎡)	
1	58	49.8	508	127	7.0	71	464	25.9	264	1927	809	16.8	166	491	23.8	288	307	54.0	551	1198
2	56	68.8	597	100	6.8	69	781	41.1	419	1502	263	15.2	155	586	26.0	265	324	66.4	678	1840
3	77	95.9	979	134	9.4	96	842	48.6	496	2501	411	23.2	287	529	28.1	287	447	110.0	1128	1584
4	55	56.4	576	134	9.0	92	746	38.1	389	1847	296	17.3	177	571	32.1	328	360	51.0	520	1579
5	64	77.5	791	101	9.4	96	857	40.8	416	2016	310	17.9	183	503	24.2	247	450	89.9	917	1338
6	75	88.4	902	132	12.1	123	1023	48.3	442	2213	368	21.4	218	609	28.8	294	537	102.1	1042	1822
7	50	58.7	599	94	8.5	87	636	37.1	379	1597	272	15.4	157	386	17.6	180	366	67.6	690	1170
8	51	54.8	559	98	7.6	78	525	33.8	345	1604	266	15.0	153	394	19.2	196	345	59.8	610	1108
9	50	46.6	475	98	6.1	62	392	26.4	269	1847	243	14.9	152	407	22.6	231	305	53.2	548	1088
10	74	85.8	865	127	6.2	66	445	23.1	236	1462	298	18.7	191	569	25.1	256	360	48.8	447	1494
ビット		6.5	66	149	7.2	78														
11	51	44.9	458	80	6.1	62	525	26.2	267	1103	220	14.7	150	560	29.6	302	282	58.1	542	1108
12	59	52.6	537	41	3.6	37	453	24.0	245	1079	218	16.8	171	406	25.7	262	260	53.4	545	1079
13	99	87.6	894	48	4.9	50	296	29.0	296	1244	250	26.7	272	353	31.2	318	256	57.1	583	1244

たもので，詳細工程計画の作成にあたっての基礎データとなる。

また，各施工ブロックの断面形状と施工方法を検討して工事全体をつぎの6つの施工パターンに分類した。

- パターン1：1ブロック
- パターン2：2，9，11，12各ブロック
- パターン3：3，4各ブロック
- パターン4：5，6，7，8各ブロック
- パターン5：10ブロック
- パターン6：13ブロック

つぎに，それぞれの施工パターンごとに，図-4.13に示す工程分解図を作成した。これによって，工事全体の詳細工程レベルの作業内容と技術的な順序関係をすべて求めることができる。そして，それぞれの施工パターンの工程分解図をもとに各作業の所要日数と投入人数を求めた。各作業の分類に用いるコード番号は，表－4.4に示すように，工種・作業，構造物部位，施工ブロックの3つのレベルに分けて各名称の記号表示と対応づけて体系化することとした。工種レベルと作業レベルをまとめ

底 防 水	床 出 ・ 出	底 鉄 筋	床 型 枠	床 枠 水	洗 底 コン クリ ート	テ ッ ピ ン グ	出 ・ 出	鉄 筋 台 直 し	鋼 管 柱 ア ン カ ー	中 ・ ハ ン チ 型 枠	水 洗	ハ ン チ コ ン ク リ ート	養 生	外 枠 パ ラ シ	付 片	衛 生 防 水	養 生	5 日 盛 養	5 日 盛 養
01 60	10 80	10 10	10 20	10 50	10 30	10 51	11 80	11 11	50 52	11 20	11 50	11 30	11 70	10 21	10 40	10 60	10 70	05 41	05 42
															内 枠 パ ラ シ				
															11 21				

調剤柱 搬付	中床 内カベ	中床 支保工	中床 スラブ	中床 スラブ	出 量	中床 鋼鉄	床 鋼筋	外 枠	枠 水	洗 水	中床 コン クリート	養生	内 枠 バラシ	スラブ バラシ	中床 スラブ バラシ	片 付	中床 バル コニー				
50 53	28 20	90 24	24 20	20 80	20 10	22 20	20 50	20 20	20 80	20 70	28 21	24 21	20 90	20 40	20 90	20 40	70 90				
片付	出	出	出	出	出	出	出	出	出	出	出	出	出	出	出	出	出				
11 40	20 81										20 71	22 21	20 48	20 60	20 72	04 41	04 42	20 44	81 10	81 10	35 20

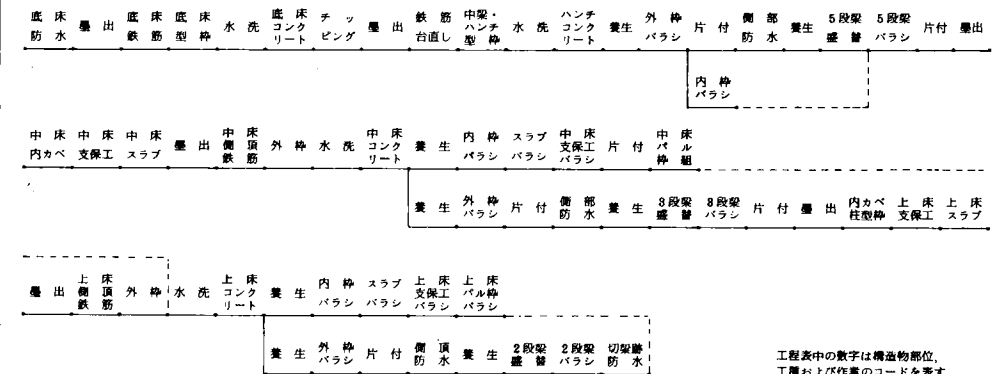
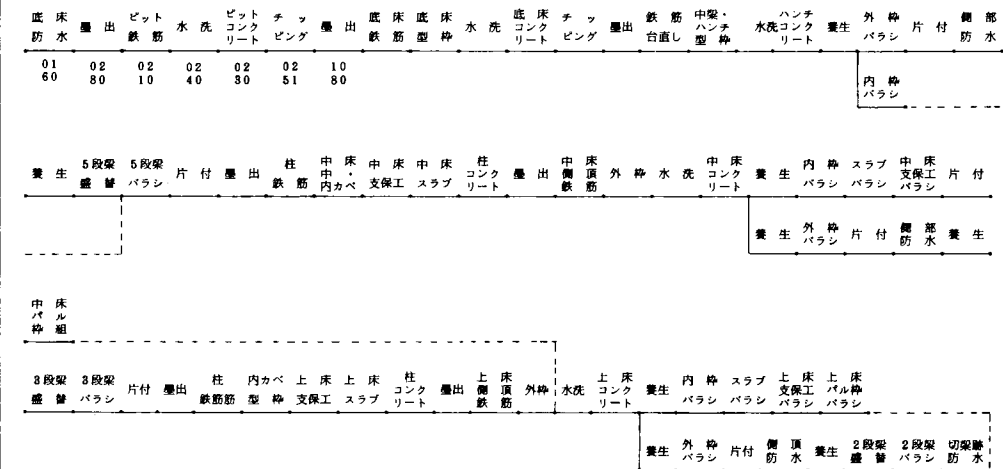
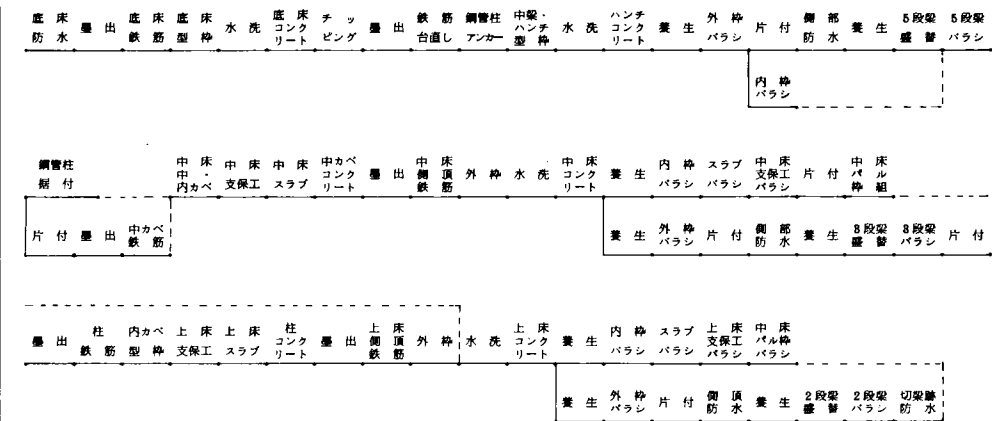
上床 交保工	上床 スラブ	柱 コンクリート	電 出	上 側鉄	床 頂筋	外 枠	水 洗	上床 コンクリート	養生	内 枠 バラシ	スラブ バラシ	上 支保工 バラシ	中 床 バラシ	床 バラシ
30 90	34 20	31 30	80 80	80 10	82 20	80 50	80 80	80 70	35 21	34 21	30 91	70 91		
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>養生</div> <div>外 枠 バラシ</div> <div>枠 付</div> <div>側 筋</div> <div>頂 水</div> <div>養生</div> <div>2段 盛</div> <div>2段 保</div> <div>切 筋</div> <div>鉄 防</div> <div>水</div> </div>														
80 71	82 21	80 40	80 60	80 60	80 72	80 41	80 03	80 41	80 03	80 41	80 03	80 41	80 03	80 60

底床 防汚水	床 出	底鉄 筋	床 型	底床 枠	水 洗	底床 コン クリ ート	チ ン グ	出	鉄 台 直し	中 鉄 筋	中 鉄 筋 ・ ハン チ ン グ	水 洗	ハン チ ン グ コ ン クリ ート	養生	外 枠 パ ラ シ	片 付	欄 防 水	養生	5段 梁 盛 置	5段 梁 パ ラ シ	片 付	
																内 枠 パ ラ シ						
出	中カベ 鉄筋	中 中 カベ	床 ・ 中 カベ	中 支 保 工	床 ス ラ ブ	中カベ コン クリ ート	出	中 便 鉄	床 頂 筋	外 枠	中 鉄 筋	水 洗	中 鉄 筋 コ ン クリ ート	養生	内 枠 パ ラ シ	ス ラ ブ パ ラ シ	中 支 保 工 パ ラ シ	片 付	中 バ レ ン 組	床 ル 組		
	25 10		25 20			25 80													8段 梁 盛 置	8段 梁 パ ラ シ	片 付	
														養生	外 枠 パ ラ シ	内 枠 パ ラ シ	片 付	欄 防 水	養生	5段 梁 盛 置	5段 梁 パ ラ シ	片 付

養生	鉄筋	内カベ型枠	上床工保工	上床スラブ	柱コンクリート	養生	上側鉄筋	床頂筋	外枠	水	上床コンクリート	養生	内枠	スラブバラシ	上床工保工	上床スラブ	上床コンクリート	養生	切梁防	2段梁養生	2段梁バラシ	切梁防	養生	鋼板	付片	養生	外枠	養生
----	----	-------	-------	-------	---------	----	------	-----	----	---	----------	----	----	--------	-------	-------	----------	----	-----	-------	--------	-----	----	----	----	----	----	----

[illegible]

- 162 -



工程表中の数字は構造物部位、  
工種および作業のコードを表す

☒- 4.13(b) 各施工パターンにおける工程分解☒

表-4.4 PERTデータの記号参照表

工種・作業		部 位		部 位		職 種 別 コード	
記号	名 称	記号	名 称	記号	名 称		
(10) R	鉄 筋 組	(01) F D	基 礎	2	2 段 切 梁	鉄 筋 工	1
(20) F	型 枠 組	(02) PIT	ピ ッ ト	3	3 段 切 梁	型 枠 工	2
(21) F※	型 枠 バ ラ シ	(10) TEI	底 床	5	5 段 切 梁	コンクリート工	3
(90) S	型枠支保工組	(11) HAK	中梁・ハンチ	ブ ロ ッ ク 番 号		土 工	4
(91) S※	型枠支保工バラシ	(20) CHU	中床(側・頂)			防 水 工	5
(30) C	コンクリート打設	(21) MWC	中床 中 カ ベ	記 号 名 称		材 料 別 コード	
(70) Y	養 生	(22) OWC	〃 外 カ ベ				
(80) M	墨 出	(23) IWC	〃 内 カ ベ	1	1 BL	鉄 筋	1
(40) K	片 付	(24) SLC	〃 ス ラ ブ	2	2 BL	型 枠	2
(50) W	水 洗	(25) NCH	〃 中・内カベ	3	3 BL	コンクリート	3
(61) T	チ ッ ピ ン グ	(26) PCH	〃 鋼 管 柱	4	4, BL	鋼 管 柱	4
(60) PRF	防 水	(30) JY〇	上床(側・頂)	5	5 BL	防 水 剤	5
(43) B	盛 替 梁	(31) MWJ	上床 中 カ ベ	6	6 BL	型枠支保工	6
(44) B※	切 梁 バ ラ シ	(32) OWJ	〃 外 カ ベ	7	7 BL	パル支保工	7
(52) AN	鋼管柱アンカー	(33) IWJ	〃 内 カ ベ	8	8 BL		
(53) SET	鋼 管 柱 据 付	(34) SLJ	〃 ス ラ ブ	9	9 BL		
(11) RS	鉄 筋 台 直 し	(35) NJ〇	〃 中・内カベ	10	10 BL		
		(36) PJ〇	〃 鋼 管 柱	11	11 BL		
		(70) PAL	パル 支 保 工	12	12 BL		
				13	13 BL		

( )内の数字はコード番号

てコード化したこと、構造物部位を当初考えたよりもさらに細分化したのは工程データと実施工との対応を明確にするためである。

各施工パターンに含まれる施工ブロックの工程データは表-4.3に示した施工数量を参照して作業員の投入数と作業歩掛を定め、それぞれの作業の所要日数を求めた。

当工事の本体構造物の施工期間としては、昭和55年11月～昭和56年12月までの14ヶ月間を見込み、各月の稼働日数を検討して実働日数を331日とした。

## 2. 工事着工当初における詳細工程計画の作成

工事着工当初においては、鉄筋工と型枠大工の投入人数、型枠支保工の投入セット数とその転用順序などと工期との関係を見るために全体工程ネットワークを作成して、表-4.5の各ケースについてPERT計算および山崩し計算を行った。型枠支保工の転用順序は総括工程計画で求めたものを基準とし、中床スラブの構築に3セット、上床スラブの構築に3セット(ただし、上床スラブの構築時に中床スラブの保護のためにパル型枠支保工を3セット投入することとした。図-4.14参照)を投入する

表-4.5 工事着工時点における詳細工程計画の検討

検 討 事 項	調 達 制 限 数			所要日数 (日)	検 討 内 容	ケース
	鉄 筋 工 (人)	型 枠 大 工 (人)	コンクリート工 (人)			
(1) 実施工程表の 方針の検討	20	25	20	638	両隣りブロックの中床の構築が完了して上床の 施工を行う。	1
	20	50	20	381		2
	30	40	20	517	鉄筋工、型枠大工の投入人数を実態に合わせて 調節する。	3
(2) 型枠支保工の 転用方針の検討	30	50	20	357	上床支保工について、10→9、2→1の転用 をしない。	4
	30	50	20	368	バル支保工の転用をしないで、6,000㎡として 山崩しを行う。	5
	30	50	20	353	ケース4とケース5を組合せる。	6
(3) 型枠大工の投 入人数の検討	30	—	—	332	型枠支保工の転用および各施工ブロックのリー ドタイムを与える。	7
	—	40	—	517		8
	30	40	20	347	型枠支保工外しを他の職種(25人投入)で行う。	9
	30	40	20	340	ケース9に加えて、型枠支保工を9、10プロ ックに転用する。	10
	30	40	20	323	バル支保工組みを他の職種(25人投入)で行う。	⑪
(4) 鉄筋工の投入 人数の検討	30	46	20	330	上床鉄筋組みの投入人数を20人とし、型枠外 しを他職種で行う。	⑫
	30	46	20	343	上床鉄筋組立てを15人で行い、型枠外しを他 職種で行う。	13
	30	46	20	318	上床鉄筋組立てを30人で行い、型枠外しは他 職種で行う。	⑭

○印は工期の制約330日を満足する代替案

ものとした。

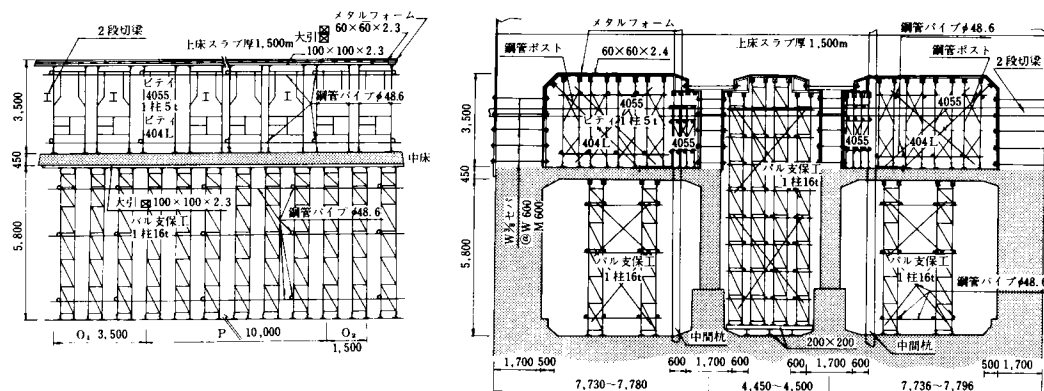
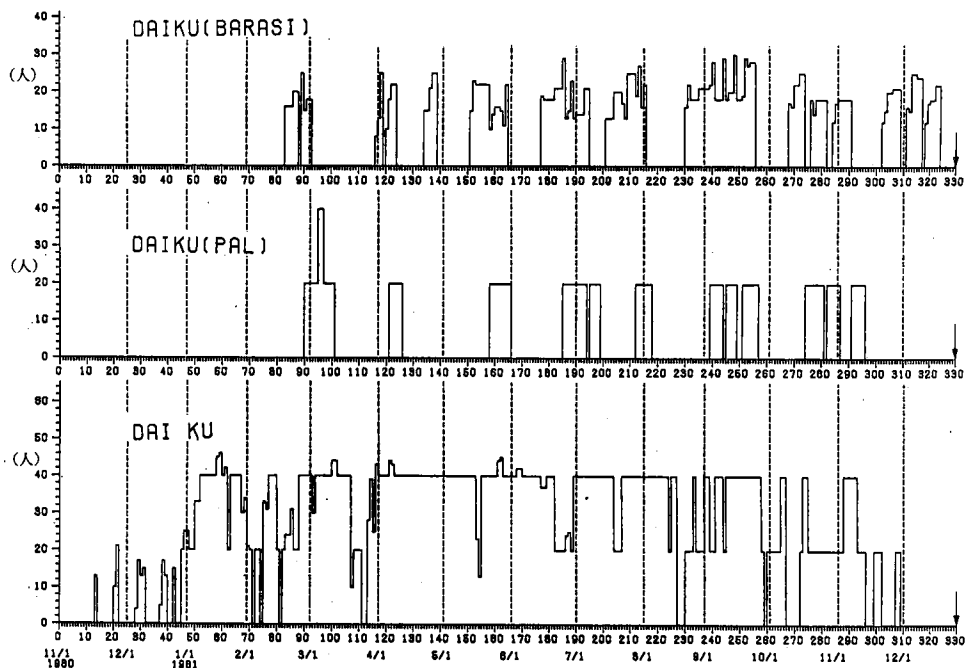


図-4.14 パル型枠支保工の組立て状況

表－4.5の(1)から型枠支保工の転用が必要であるが、(2)の結果から型枠支保工の転用のみでは工期内に納まらないことがわかり、各職種の投入人数の検討を行うことにした。その結果、型枠支保工外しを型枠大工でなく他の職種で処理すること、型枠支保工をもう1セット追加する必要があることがわかった。そして、型枠大工の投入人数の影響が大きいことから、上床スラブの支保工組みに際してパル支保工組みの作業を他職種で行うこととした。その結果、一応、工期内に納まる工程計画代替案が(ケース11)として得られた。しかし、実際の工事では、上床部の作業を行うにあたっては両隣りのブロックの中床部の構築が終わっている必要があり、それによる工期延伸の影響を考慮して型枠大工の調達数を46人とすることとして、鉄筋工の投入人数の検討を行った。

その結果、最終的に、型枠支保工6セット、パル支保工3セット、鉄筋工30人、型枠大工46人、コンクリート工20人、型枠外し工25人とする(ケース14)が工期を満足させ、しかも、余分のステージを組むことなく上床部を施工できることがわかった。図－4.16は実施工程計画として採択した案の工程表であり、図－4.15はその案の大工の山積み図である。これを見てもわかるように、型枠大工の使用状況には全く余裕が見られず、工事施工の実施にあたっては工事管理上注意を要することがわかる。



図－4.15 実施計画案における大工の山積み図



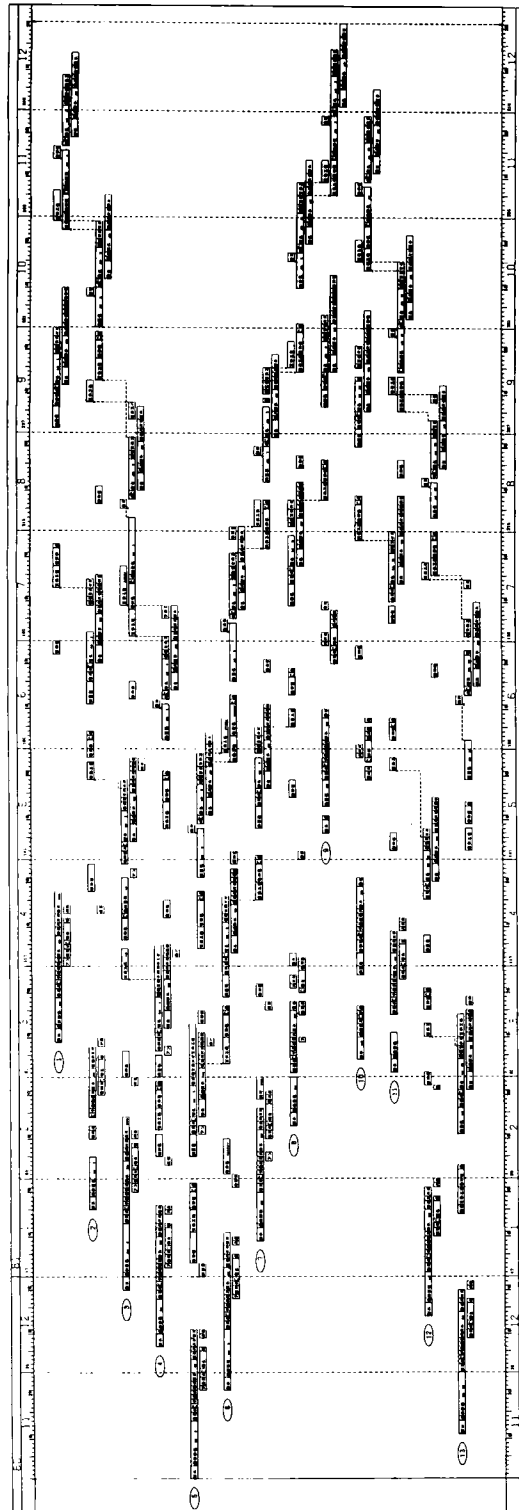


図-4.16 実施計画案として採択された詳細工程計画

### 3. 掘削工事着手時における検討

今回は、隣接ブロックの作業との相互関係と型枠組立ての作業方法の変更による工程短縮について、詳細工程計画の検討を行うことにした。

#### 3.1 隣接ブロックの作業との相互関係の検討

各構造物部位の施工にあたって、妻部の型枠外しは隣接ブロックの鉄筋組み作業の後では困難となる。当工事では9ブロックと10ブロックの間でそのような作業順序の競合関係の生じることが予想された。それで、妻部型枠外し作業に障害となる鉄筋組み立て作業を型枠外し作業に後続させるという順序関係を与えることにした。しかし、そうした順序関係を追加することによって工期が延伸するおそれがあったので、底床部のハンチ部分の型枠組立て方法を図-4.17に示すように変更してその部分の日程を短縮することにした。その結果、底床部ハンチ部分の型枠組立て方法を変更する場合には326日の工期となり、9ブロック鉄筋組立てを10ブロックの妻部型枠外しに後続させるようにすると333日であり、ほぼ工期の制約を満たすものと考えられる。

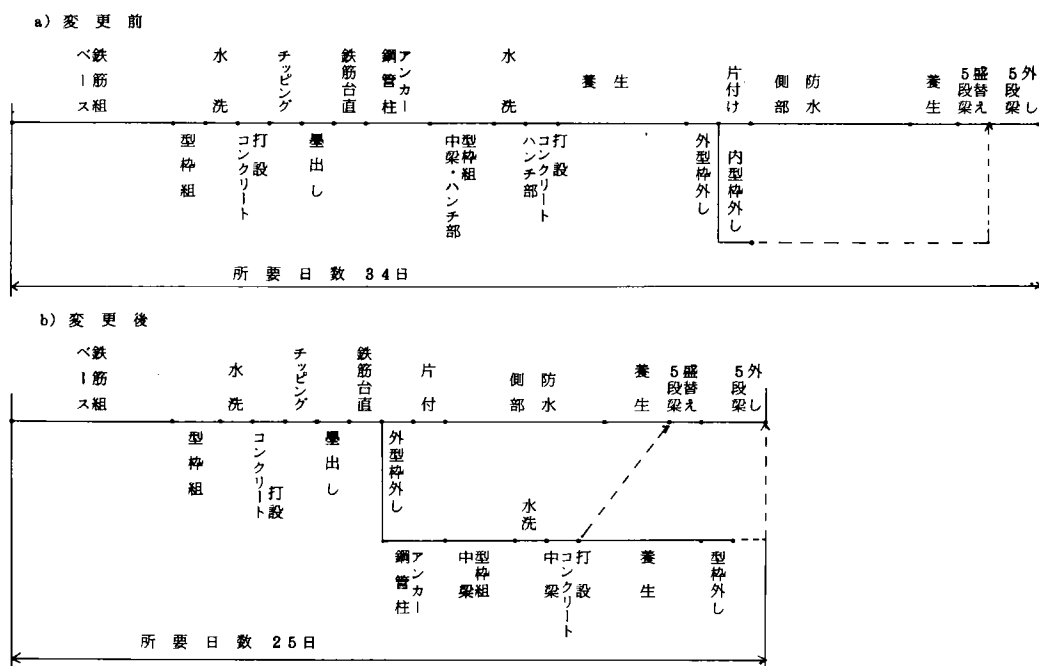


図-4.17 底床ハンチ部の型枠組立て工程の短縮方法

### 4. 適用結果の考察

ネットワークモデルによる詳細工程計画の作成にあたって、本研究では山崩し計算法を中心とする

適用を行った。その成果を要約しそとりとめると以下のようなものである。すなわち、

- (1) 山崩し計算法の適用にあたって、①逐次PERT計算を行って $TF$ を基準とする方法、② $LS$ を基準とする方法、③ $(ES+TF)$ を基準とする方法、について比較したが、工期の短さという点で①の方法が良い。
- (2) プレシデンス型ネットワークの適用によって、工程データの追加・修正が容易となり、数多くの代替案を比較検討することが可能となった。
- (3) コンピュータ周辺技術の進歩により、プロッターを用いての工程表の作図を漢字混りかな文字表示となり、見易く、使い易くなった。
- (4) 職別山積み図との対比により、工程表の細部の修正処理が可能となって、工事施工の実態に即したスケジュールを作成することができるようになった。

## 第6節 大規模ケーソン工事におけるコンクリート打設作業の解析事例<sup>11)</sup>

### 1. ケーソン工事の概要

本研究において対象としてとりあげた土木工事は大規模なケーソン工事である。工事現場は、大阪の西南部の大阪港に面しており、工場地帯のなかにある。現場の作業空間は、図-4.18にあるように

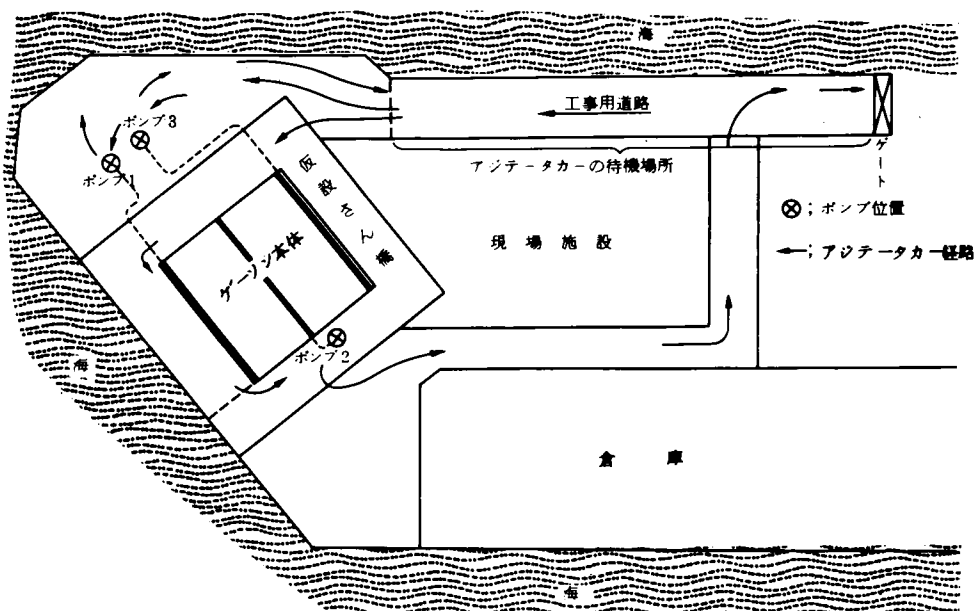


図-4.18 ケーソン工事の現場概要図

工事現場が突堤部にあつて3方が海に囲まれ、隣が倉庫であるために、非常に狭い。また、工事が大規模であるため、多量の資材を交通の激しい市街地を経て搬入しなければならない。

ニューマティックケーソン工法<sup>12)</sup>のケーソン本体工事の施工順序を大きく分けると、まず、沓すえ付け工程があり、次にケーソンの沈下工程を行い、最後に中詰めコンクリート打設作業、上部床版・頂版の構築を行うことになる。ケーソンの沈下には、コンクリートの打設によって上載荷重の増加するために生じる沈下と、作業室内の土砂の掘削によって地盤の支持力が低下するために生じる沈下、さらに、作業室内の気圧の低下によって生じる沈下がある。ケーソンは主として掘削とコンクリート打設との2つの作業の繰返しの結果、所定の深度まで沈下することになる。

また、コンクリート打設作業の1回当たりの打設に対して施工される構造物部分は1ロットと呼ばれる。1ロットの作業工程を示すと図-4.19のようである。この図から明らかなように、1ロットの作業工程は3つの作業群から成っている。第1は沈下掘削作業である。第2は沈下掘削を行うためのコンクリート打設作業ならびにぎ装作業である。コンクリート打設は通常1日以内で行われる。第3はコンクリート打設のための型枠の解体、組立ておよび鉄筋の組立て作業である。この第3の作業群は第1の作業が終了するまでに完了すればよい作業群である。したがって、ケーソン工事の作業工程の中で、時間的に重要な位置を占める作業は沈下掘削である。一方、コンクリート打設作業は、1回の施工量、すなわち1ロットの施工量と所要時間を規定するという意味で重要な位置を占める。

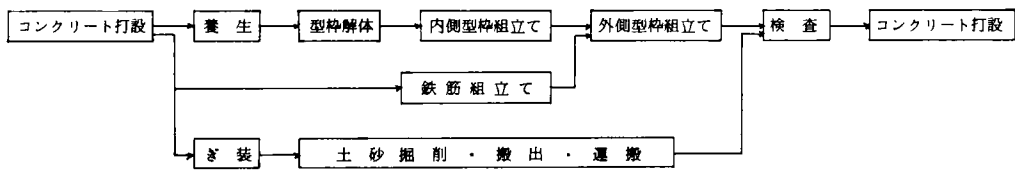


図-4.19 1ロットの作業工程

## 2. コンクリート打設作業のモデル化

本研究のコンクリート打設作業の解析にあたっては、次の事項が前提となっている。

- ① 1ロットのコンクリート打設数量は $600m^3$ とする。
- ② コンクリート打設作業の工程は図-4.20に示すフロー図のようである。
- ③ コンクリート打設の方式は1ロットの打設高さ $3m$ に対して3層に分けて打設するものとする。  
すなわち、1層の打設高さは $1m$ である。

つぎに、これらの機械設備の動態に着目してコンクリート打設作業のフローをモデル的に捉えることにする。

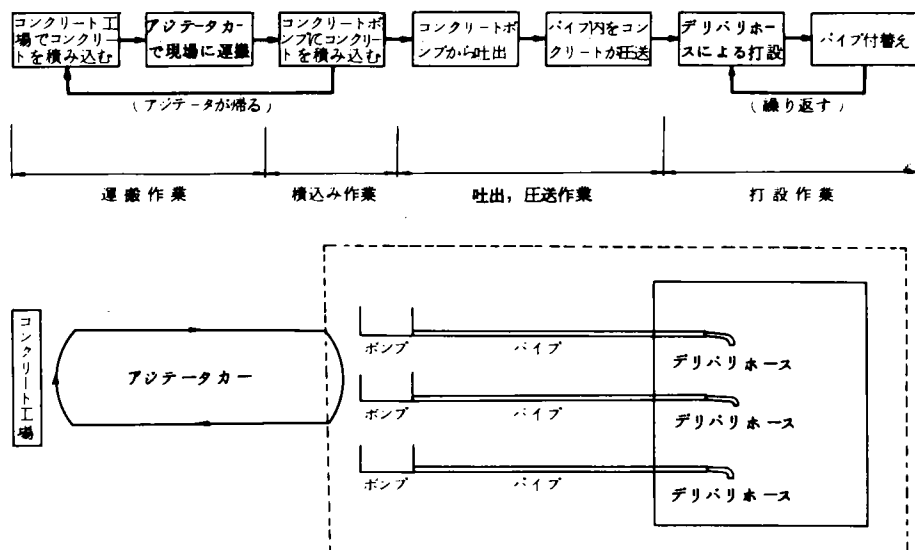


図-4.20 コンクリート打設作業のフロー

## 2.1 作業計画作成上の課題と作業モデルの作成

作業計画作成上の問題としては2つある。その1つは、効率的に作業を実施していくための各投入資源間のバランスの問題である。すなわち、コンクリート工場の生産能力、アジテータカーの運搬能力、パイプ付替え作業も含めたコンクリートポンプ<sup>13)</sup>の吐出能力間のバランスの問題である。

他の1つは、コンクリートの品質確保の問題である。すなわち、コンクリートの練混ぜから打設までの時間が1時間（乾燥時）から2時間（湿潤時）以内でないと品質を維持することが困難であるということ、また、コンクリートポンプによる圧送についていえば、圧送時の停止時間が長くなると、パイプ内のコンクリートのスランプ値が低下してくる、などである。

さて、以上の事項を考え合わせて、工事現場における動態観測にもとづいてコンクリート打設作業のシミュレーションモデルのフローを図示したものが図-4.21である。このフロー図においては、コンクリート打設作業の流れを機械・設備の動態とコンクリートの流れの2つの段階に分けて考えている。すなわち、コンクリート工場より現場までの作業をアジテータカーの動態によってあらわし、ついで、それ以後の機械・設備の動態とコンクリートの流れを、コンクリートの流れの状態と機械・設備の動態との関係において記述することにより同時にあらわすことにした。また、実際の作業実施状況を詳細にあらわすためには、フィジカルなフローだけではなく、各作業に対する作業管理者の判断、指示など情報の流れも表しておく必要がある。ここではこれらの情報の流れを図-4.21の1点鎖線のようにあらわした。コンクリート打設作業のフロー図をこのように物および情報の流れとを合わ

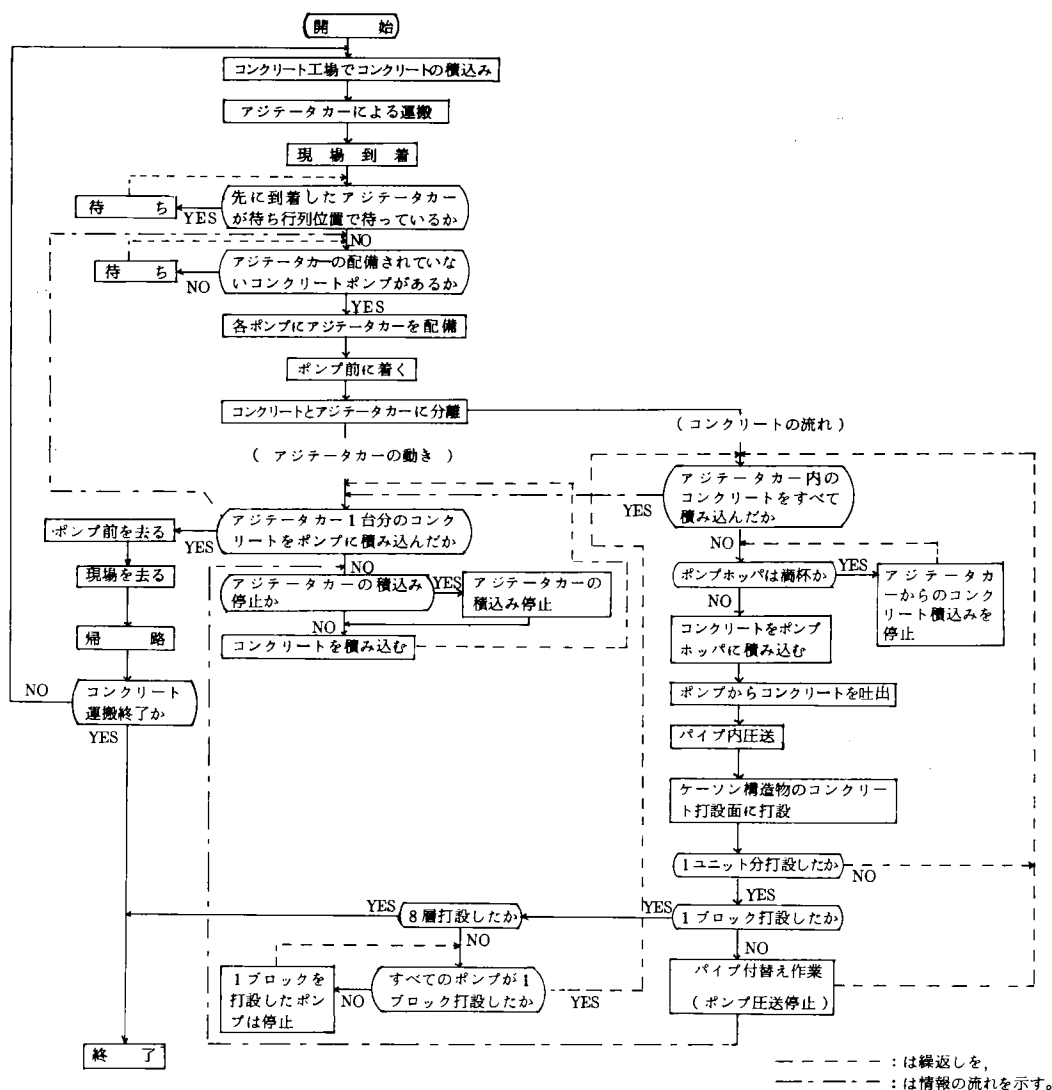


図-4.21 動態観測にもとづくコンクリート打設作業モデルのフロー

せて示しておく、作業をより有効に行うための作業管理方式の検討にも役立つのである。次項においては、上述のコンクリート打設作業のモデルをもとに作成したシミュレーションのフローについて述べることにする。

#### (1) 配車方式

実行可能な配車方式としては、つぎの4つの方法が考えられる。

- ①現場に到着した順に空いているコンクリートポンプの前へ順次配車する。
- ②現場に到着した順に、アジテータカーに対し、コンクリートポンプの番号をサイクリックに与え、その番号のポンプの所へ配車する。

④現場入口付近で待たせることを少なくするために、現在積み込んでいるアジテータカーの後ろにもう一台だけアジテータカーをつけることを許す方式である。

## (2) ブロックとユニットの設定方法

そして、各ブロックでは、

これをユニットと呼ぶと

とにする。したがって、

一ホースの長さ，パイプ  
の形状，径およびその配

置によって定まるもので

ある。図-4.22に各ロットのユニット分割の例を

示すことにする。

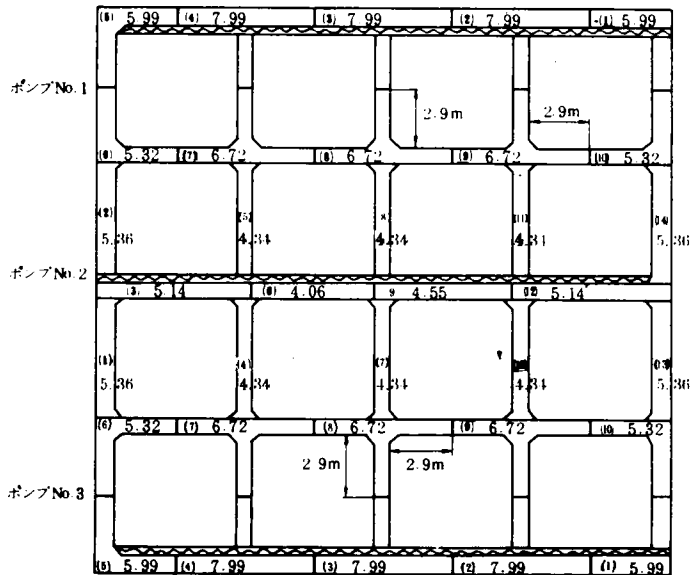


図-4.22 3台の等能力のポンプのためのユニット分割  
(有効打設長3m)

## 2.2 シミュレーションの実施方法

シミュレーションの実施にあたって、作業方式と機械、設備の組合せに関して、つぎのような基本的な方針をたてた。すなわち機械、設備の規模と台数の組合せには、アジテータは3m<sup>3</sup>の容量のものを40台、コンクリートポンプは4インチ径のものをとる組合せを標準タイプとする。また、作業

方式を一定に保つ場合については①の配車方式を標準タイプとして採用することとした。また、作業方式のうちユニットの設定については、ホース長5mとして計算したユニットを標準タイプとした。これらの標準タイプは最も一般的なものと考えられるので、ここでは、これらの機械設備と作業管理方式の組合せを「基本形」と呼ぶことにした。

シミュレーションの実施にあたっては、まずこの基本形に対してアジテータカーの投入台数の変更による打設作業の特性値の変化について調べることとし、その後パイプ径、ポンプ台数、およびアジテータカーの容量の変更による影響について検討することにした。このときの配車方式は①の場合に固定しておいた。

以上の考察のもとに、

表-4.6 シミュレーションの実施ケース

図-4.19に示したコンクリート打設作業モデルにしたがって汎用シミュレーション言語GPSSを用いてシミュレーションモデルを作成した。そして、表-4.6に示す各ケースについてシミュレーションを行うこととした。以下に、その結果をとりまとめて考察することにする。

ケース番号	パイプ径(インチ)	ポンプ台数	アジテータ容量	アジテータ台数	層	配車方式	ユニット設定
1 2 3 4 5	4	8	8	30 35 40 45 50	1	① 調整環に合わせたポンプに付かず	有線打設長5m
6 7 8 9 10	4	8	4.5	30 35 40 45 50			
11 12 13 14 15	4	2	8	30 35 40 45 50			
16 17 18 19 20	5	8	8	30 35 40 45 50			
21 22 23 24 25	4	8	8	30 35 40 45 50			
26 27 28	4	8	8	40	1	② グループ分け ③ 現場での番号づけ ④ 1台のポンプに3台のアジテータ	有線打設長5m

### 3. シミュレーションによるコンクリート打設作業の解析

#### 3.1 打設コンクリートの品質に関する考察

①；図-4.23に示した輸送時間分布をみると、36分から53分とばらつきの多い分布形状を示しているが、1時間以内で打設されており、管理基準を満たしている。

②；つぎに3管にわけて打設するとき、下層のユニットにコンクリートを打設してから、つぎにそのユニットに打設するまでの経過時間を求めたものが図-4.24である。この結果は、コンクリートの打ち継目に関する管理基準を満足していることを示している。

③；コンクリートがポンプホッパー～パイプ系にとどまっている時間が長くなると、コンクリートの



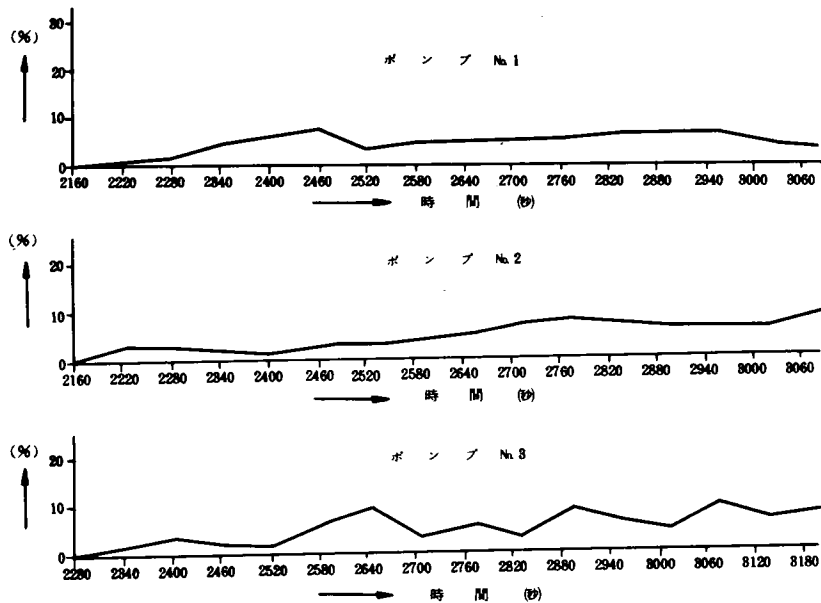


図-4.23 コンクリート工場からポンプに積込むまでの時間分布

スランプ値が変化して、  
ポンプの故障、あるいは、  
パイプの目づまりを生じ  
させる可能性がある。こ  
の点に関する検討を行う  
ために、コンクリートが  
ポンプホッパーに積込ま  
れてから、パイプおよび  
デリバリホースで吐出  
されるまでの滞留時間を  
求めたのが図-4.25であ  
る。この図から、コンク  
リートがポンプ～パイプ  
系にとどまっている時間  
はそれほどのばらつきも  
なく、ほぼ80秒以下の  
間に吐出されており、や

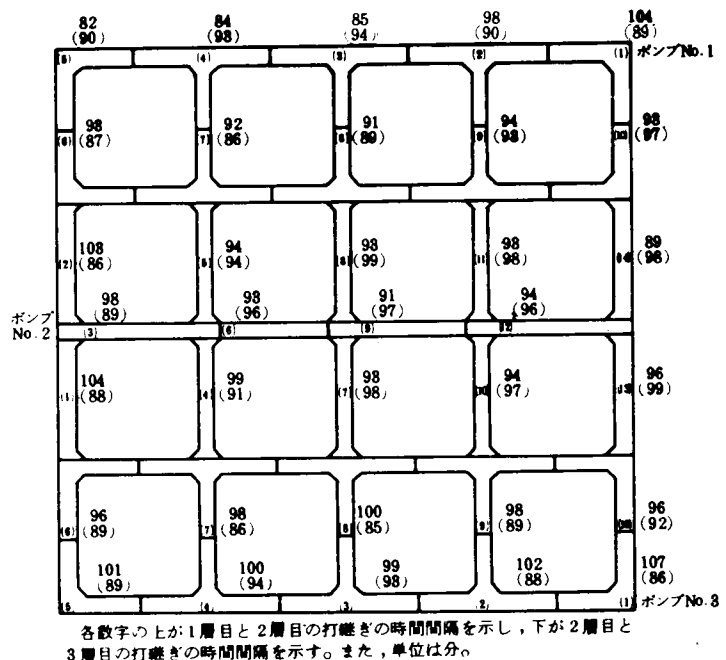


図-4.24 各ユニットの打ち継ぎまでの時間間隔

はり、問題はない。したがって、ポンプ～パイプ系のコンクリート圧送時の品質の変化については、ポンプホッパに積み込まれるまでの所要時間の管理を行うことが1つのポイントとなろう。

### 3.2 アジテータカーとポンプの台数および容量による作業時間特性

シミュレーションの結果、コンクリート打設作業の時間特性について以下の事項が明らかとなった。

#### (1) 解析の概要

①；アジテータカーの台数の変更による完了時刻の変化の状態を調べるために求めたものが図-4.26である。ただし、ポンプの能力と台数を固定させた状態について考え

た。また、図-4.27はアジテータカー容量およびポンプ台数の影響について調べたものである。

②；同様に、ポンプの能力と台数を固定させた状態でアジテータカーの遊休状態の変化をみるために表わしたのが図-4.28である。

③；②と全く同様の状態でポンプの遊休状態の変化をあらわしたのが図-4.29である。

④；さらに、同じアジテータカーとポンプの組合せに対して、待ち行列中にあるアジテータカーの最大待ち台数を示したものが図-4.30である。これは、現場における待ち台数収容能力を調べるためのものである。

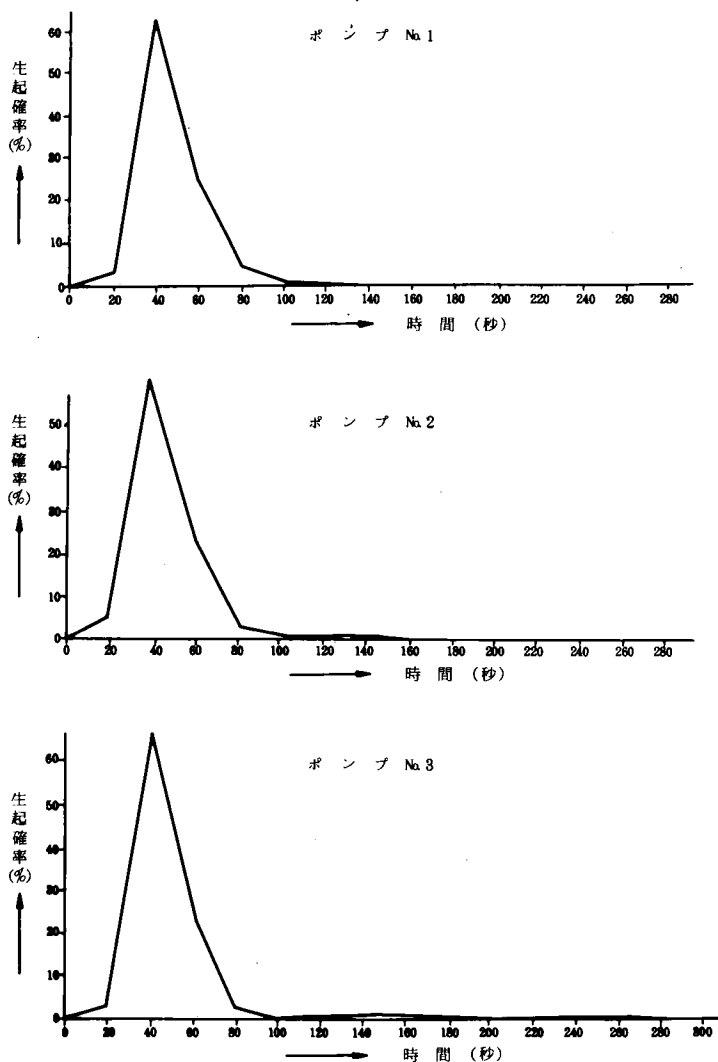


図-4.25 ポンプ・パイプ系におけるコンクリートの滞留時間分布

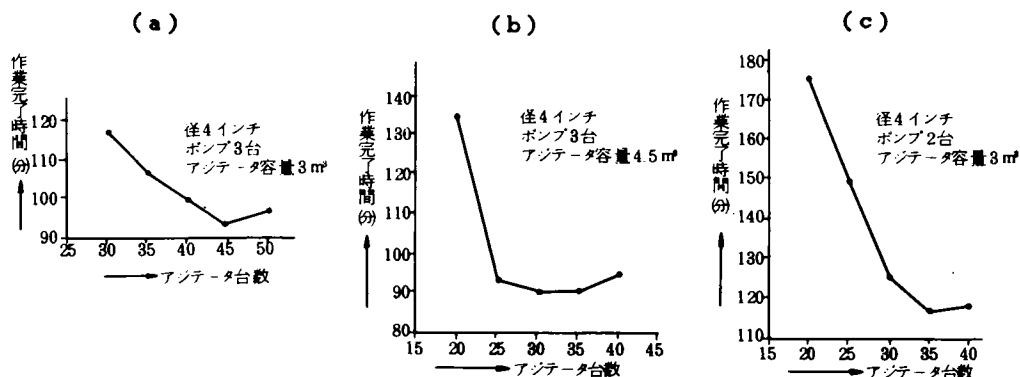


図-4.26 アジテータ台数と作業完了時間の関係

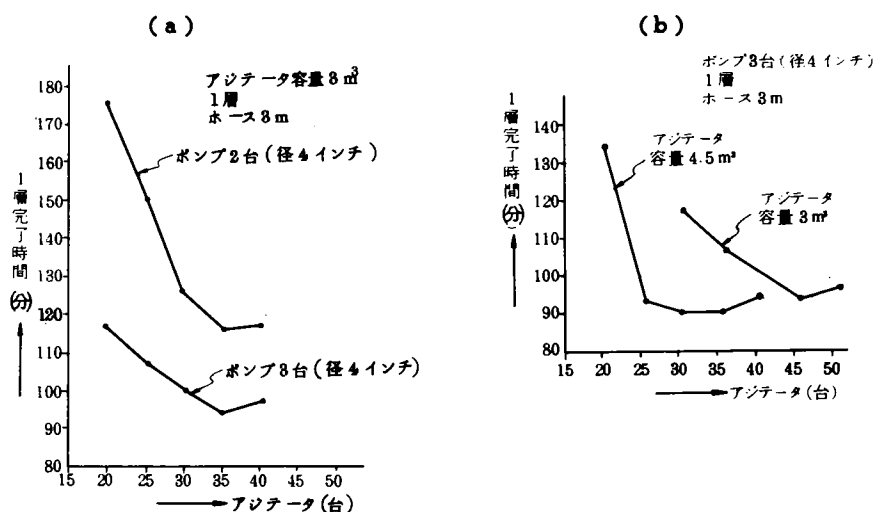


図-4.27 ポンプ台数およびアジテータ容量と作業完了時間の関係

⑤；基本形について，とくに3層打設作業の場合について各ポンプの施工速度のバランスがどのようになっているかを調べることをして，コンクリート打設量の累積とコンクリート打設作業の経過時間の関係をあらわしたものが図-4.31である。

これらの結果から，コンクリート打設作業の時間的特性として次のように考察することができる。

## (2) コンクリート打設作業の時間的特性の分析

図-4.26から，アジテータカーの台数の増加に対して打設完了時間は減少傾向を示しているが，ある台数(たとえば，アジテータカー3 m³，ポンプ3台，4インチ径パイプ，デリバリホース長3 mの場合では45台)をこえると，もはやアジテータカーの台数を増加させることによって作業完了時刻をそれほど短縮することはできなくなることがわかる。

図-4.27(a)から、ポンプ台数を2台から3台に増加させると、打設完了時間を20～35%短縮できることがわかる。ポンプの投入台数の増加率と打設完了時間の短縮率とは比例しておらず、後者の値の方が小さくあらわれていることに注意する必要がある。

③；図-4.31を見ると、同一時刻にコンクリート打設作業を開始しても、ポンプの配置およびアジテータカーの到着状態が異なるために、1層打設終了時には各ポンプの1層打設時間に15分から20分ぐらいの開きが生ずる。もし3層連続して打設するとすれば、この差はさらに開くものと考えられる。このように、ポンプ～パイプ系によって打設速度のバランスがくずれることは、構造物にかかる荷重のバランスもくずれてくるため好ましいことではない。したがって、本シミュレーションで採用したように、1層のコンクリート打設が終了することに各ポンプのつぎの層の打設開始時間を同じくするような方法をとることは、作業管理上必要なことと思われる。

また、図-4.27(b)から、アジテータカーの規模が3m<sup>3</sup>と4.5m<sup>3</sup>の場合について比較すると、同じ時間だけ打設完了時間を短縮するためには、3m<sup>3</sup>では4.5m<sup>3</sup>より多く投入しなければなら

ないのは当然であるが、規模の比(3:4.5)に対して、15台:5台と投入数量比が規模の比率よりも大きくなっている。したがって、当現場のように、作業面積の非常に限られているところでは、

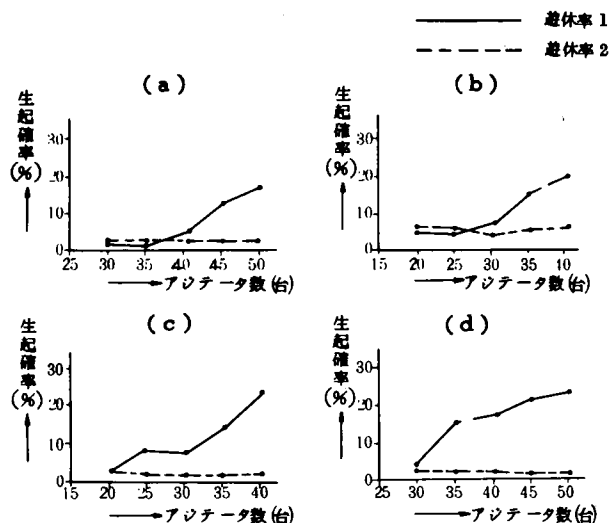


図-4.28 アジテータカーの遊休率の推移

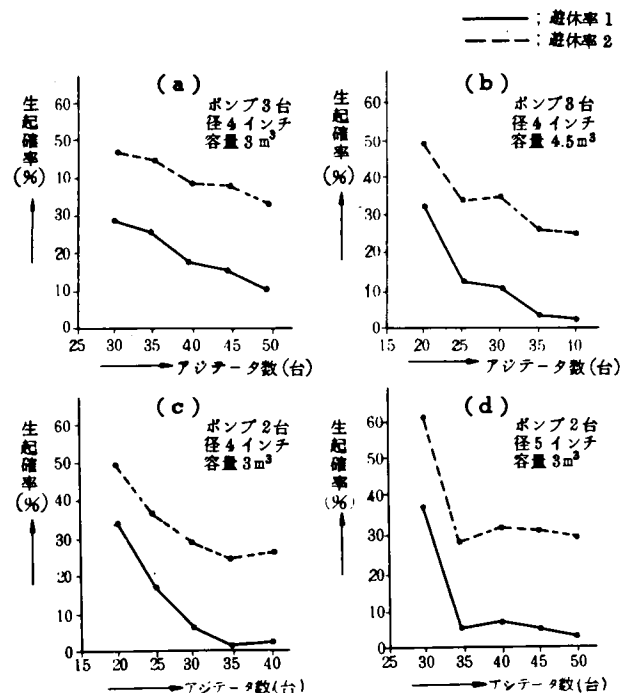


図-4.29 ポンプの遊休率の推移

アジテータカーの規模はできるだけ大きいものを投入する方が管理しやすいであろう。

当工事現場の待機場所の広さは、1列縦隊で約10台が限度である。図-4.30をみると、①および④の場合には、アジテータカーの投入台数が40台以上になると待機場所にはいりきれなくなることがわかる。このような場合には、他の場所に待機場所を確保するか、他の組合せ、たとえば、図の②あるいは③を採用する方向で検討する必要がある。

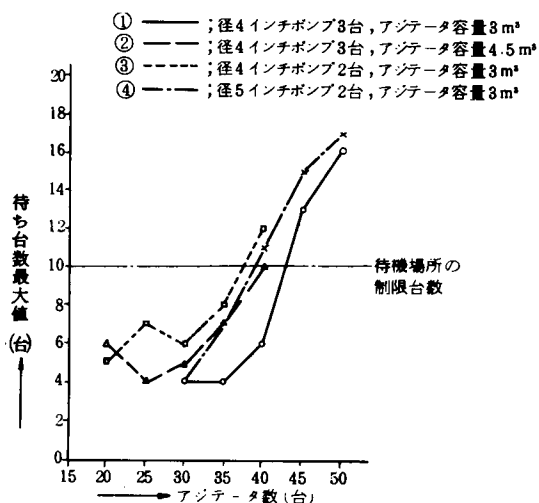


図-4.30 アジテータカーの最大待ち行列台数

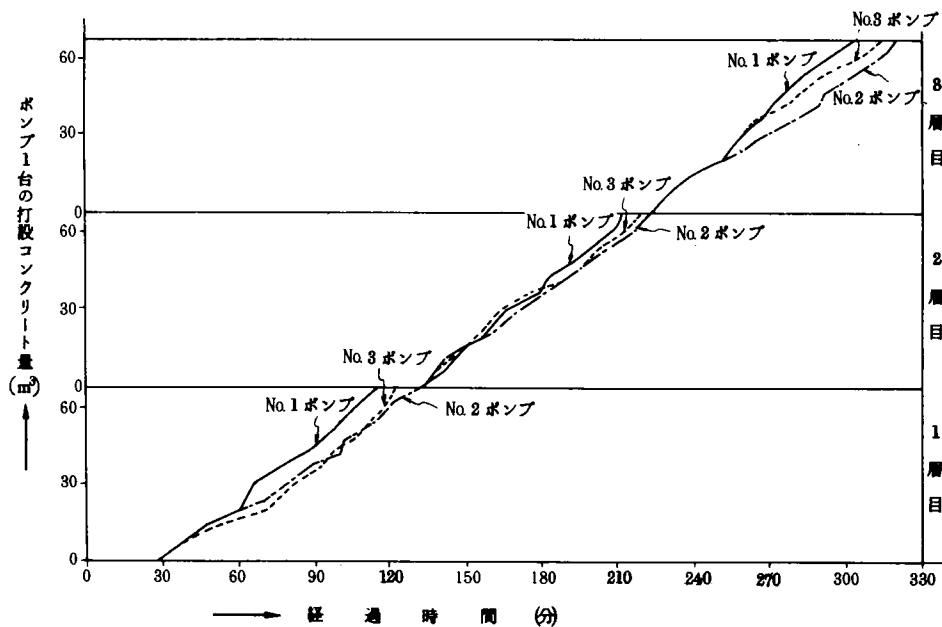


図-4.31 コンクリート打設状況の時間的推移(3層打設の場合)

### (3) アジテータカーおよびポンプの遊休状態

図-4.26から、アジテータカーの遊休率1は図の(d)の場合を除いて、投入台数の概算式で求めた台数以上になると急激に増大することがわかる。一方、遊休率2では、どの組合せの場合も小さく、しかもほぼ一定値を示しており、投入台数の変化による影響は認められない。コンクリート打設作業に対してアジテータカーの適正な投入台数を決定するためには、このような遊休率のはかに、打設

完了時間の短縮や投入費用の節減，作業方式の改善，さらには工事現場におけるふくそう度なども合わせて検討する必要がある。

ポンプの遊休率については，遊休率1よりもかなり大きい値を示している。このことから，パイプの付替えによるポンプの停止時間は全体の作業時間の中で大きな比重を占めることが明らかとなる。ポンプの遊休率とアジテータカーの遊休率の変化傾向に対応関係はそれほど認められず，むしろ図-4.26の打設完了時間との対応関係が認められる。

### 3.3 コンクリート打設作業における費用特性

アジテータカー，ポンプの台数，規模，組合せに対してコンクリート打設作業の費用特性を把握することは重要である。

図-4.32は費用比較するために作成したものであり，いずれの場合も打設すべきコンクリート量は同一であるので，投入されるアジテータカーとポンプの使用にかかる1時間当り損料（円/hr）で示している。図-4.30(a)から，アジテータカーの投入台数が多くなるとポンプ台数が2台の場合の方が高い損料を示す。しかし，アジテータカーの投入台数が少なくなると，このような関係は認められない。図-4.33は3m<sup>3</sup>のアジテータカーと4インチ径のポンプ3台の組合せで3層に分けて打設（打設量600m<sup>3</sup>）した場合について示している。この図において，アジテータカーの投入台数を50台→45台→40台と減少させていくとき，損料も大幅に節減できるのに対して作業完了時間はそれほど増加していない。しかしさらに台数を減少させていくと，損料はもはや節減することができなくなる。このように，投入台数

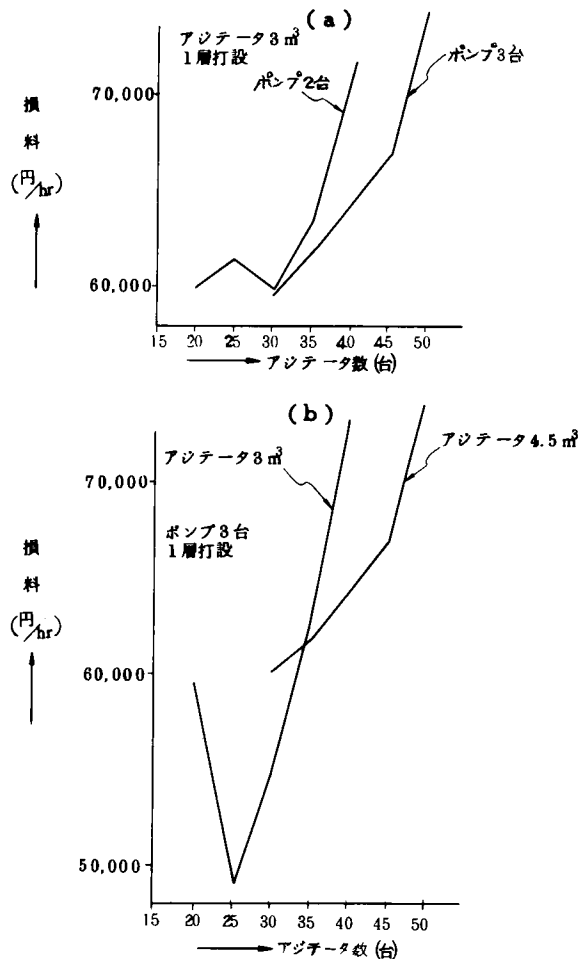


図-4.32 アジテータカーの容量およびポンプ台数によるコンクリート打設作業の費用特性

をパラメータにして示すと時間と費用のトレードオフの状態を明らかにすることができ、これから望ましいアジテータカーの投入台数を求めることができる。

図-4.34は1層打設（打設量  $200\text{ m}^3$ ）の場合について種々の組合せのケースを比較したものであり、この場合、4インチ径のポンプ3台と4.5  $\text{m}^3$ 容量のアジテータカーを25台～30台投入するのが、時間と費用の両者を考えた場合妥当な組合せであるといえる。

また、作業方式の検討のために、アジテータカーの配車方式を変えてみても、配車方式④を除いて所要費用はそれほどの変異を示していないことがわかる。したがって、工事現場での配車方式の決定にあたっては、現場施設の配置、現場のふくそう度、あるいは配車のコントロールのしやすさなどを検討しておけばよいものと思われる。

本研究では、このような意

図のもとに、ケーソン工事におけるコンクリート打設作業の調査観測を行い、作業内容をモデル化した。そして、このモデルを構成する各要素の、コンクリート打設作業に対する種々の影響、すなわち、品質や打設完了時間および所要費用への影響を調べるためにシミュレーションモデルを作成した。シ

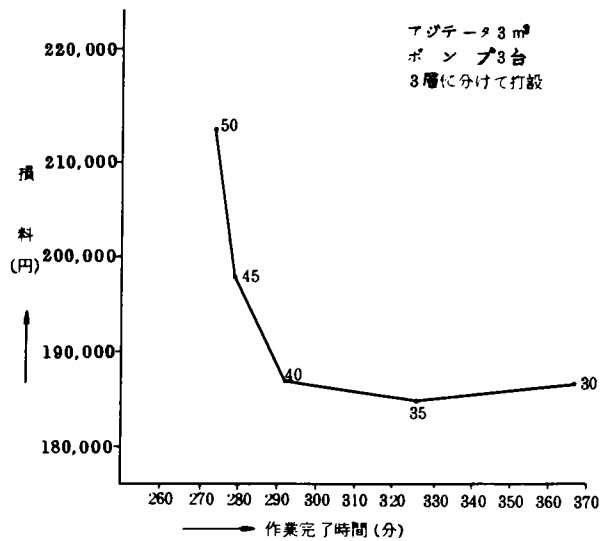


図-4.33 アジテータカーの台数をパラメータとした作業完了時間と機械損料のトレードオフの関係（3層打設）

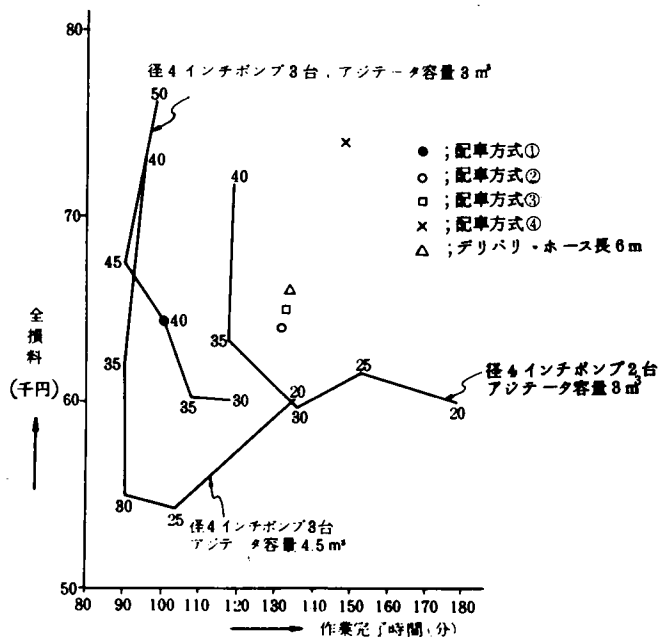


図-4.34 作業完了時間と全損料の関係（1層打設の場合）

ミュレーションを実施した結果、品質管理については、時間的側面からの影響を検討することができた。作業完了時間については、投入機械設備の中でも、とくにアジテータカーの投入台数と規模の影響を検討し、ポンプの遊休状態が無視できない影響要因であることがわかった。また、投入機械の規模、台数、組合せについては、作業完了時間のほかに所要費用も同時に考えて検討することによって、適正な組合せを決定することができるという結論を得た。

## 第 7 節 結 言

工事実施計画の作成段階は、実施工の段階で発生する施工上、計画・管理上の問題に首尾よく対処できるように事前検討と対策案の評価を行い、もっとも実行可能性の高い工事計画を確立するものとして位置づけられる。このために、この時期に行われる詳細工程計画の作成も同様の観点から工事全体の細部にわたり工事内容の綿密な検討に裏付けられたものでなければならない。作業数が膨大で取り扱われる資源の種類も多様である詳細工程計画の作成にはネットワークモデルの導入が適切であるといえるが、その適用にあたっては、工事実施計画の中で処理すべき計画要素を十分に考慮できるものでなければならない。

第 2 節においては、こうした観点に立って工事実施計画における詳細工程計画の位置づけを行い、詳細工程計画が対象とすべき計画問題の内容を明らかにした。そして、詳細工程計画の個有の問題としての作業日程計画および資源使用計画の作成に伴う課題について述べた。作業日程計画の作成にあたって考慮すべき各作業の施工特性、計画・管理特性を示した。資源使用計画は各種の工事用資源の施工上の運用特性を反映したものでなければならず、工程計画作成にあたって考慮すべき各種工事用資源の調達と運用に関する特性について考察した。

第 3 節では、土木工事の工程計画手法として用いられてきているネットワークモデルによる詳細工程計画の作成方法について考察した。従来、PERT・CPMとして知られているネットワーク手法はアロー型のものであったが、本研究では工程データと工事施工との対応関係の明白さやデータ処理の容易さという観点からプレシーデンス型ネットワークによる PERT 計算法および山崩し計算法を示した。とくに山崩し計算法については作業着手の優先順位の規則の取り方によって得られるスケジュールの結果が異なるという大きい問題が存在している。これに対しては最遅開始時刻  $LS$  を第 1 基準、トポロジカルオーダーリング番号  $N$  を第 2 基準とするのがよいが、実際にはトータルフロート  $TF$  をも含めて種々の基準についてスケジュール計算結果を比較するのがもっとも現実的であるという結論を得た。また、山崩し計算法の適用に関連する山積み図の定量的評価法を提案し、山積み図の形状の相違を定量的に把握できることを明らかにした。



第4節においては、詳細工程計画の作成にネットワークモデルを適用するにあたって解決すべき課題とされている工程データの処理方法に関して、工程計画の作成プログラムの設計という観点から考察した。工程計画の作成プログラムは、インプットデータの入力処理、PERT計算、山崩し計算、アウトプットデータの編集という4つのフェーズに分かれている。プログラムの運用にあたって重要なインプットデータおよびアウトプットデータの処理を作業データ、順序関係データ、図化データのそれぞれについて詳細に考察した。その場合、プレシデンス型ネットワークを導入することによる特長や工事内容のトリー構造分解と対応する工程データの作成、および工程データの修正や変更の方法についても明らかにした。

第5節では、本研究で明らかにした工程計画の作成プログラムを用いた詳細工程計画の作成事例として大阪市東部の地下鉄駅部工事への適用例を取り上げた。当工事は第3章における総括工程計画作成の対象工事としても取り上げており、工程計画・管理に関して体系的な取り組みが行われた工事である。詳細工程計画の作成に関しては、工事着工当初と掘削工事着手当初の2回にわたって工程計画の検討を行った。当工事は、工期の制約と鉄筋工、型枠大工の調達が厳しい状況にあったが、本研究の方法を適用することにより実行可能性の高い詳細工程計画が得られ、その結果、第5章で明らかにするようにプレシデンス型ネットワークモデルの有効性が明らかにされた。

第6節では、実施計画段階におけるもう1つの重要な計画問題である個別的施工計画の適用事例として、大規模ケーソン工事におけるコンクリート打設作業の解析事例を示した。作業解析はメモーションカメラにもとづく動態観測をもとにコンクリート打設作業のシミュレーションモデルを作成して行った。その結果、打設コンクリートの時間特性、コンクリート打設作業における機械系の稼働特性、時間・費用特性、施工現場における機械系の待ち状態に関して定量的な特性が明らかにされ、施工管理上の有効な資料が得られた。

## 参 考 文 献

- 1) 春名攻・田坂隆一郎：土木施工における工程計画・管理のシステム化に関する実証的研究，第5回土木計画学研究発表会講演集，PP.638～647，土木学会，1983.
- 2) 田坂隆一郎・折田利昭・安井英二・佐幸田泰明・米田宗二・西野久二郎：マイコンを利用した現場管理システムー地下鉄工事における工程管理事例ー，昭和57年度技術研究発表会論文集，PP.129～163，鴻池組，1982.
- 3) 米谷栄二編：土木計画便覧 13 施工計画，P.503 丸善，1976.
- 4) Moder, J. J., Phillips, C. R. : Project Management with CPM and PERT, Second Edition, Van Nostrand Reinhold Co., 1970.
- 5) Clough, R. H.・Sears, G. A., 井戸禎光訳：建設工事プロジェクト・マネジメント実践マニュアル，日本技術経済センター出版部，1980.
- 6) 田坂隆一郎・折田利昭・安井英二：ネットワーク形状と山崩し計算法によるスケジュール特性について，昭和56年度関西支部年次学術講演会講演概要，IV-37，1981.
- 7) 前出3)，P.504.
- 8) 山本幸司・田坂隆一郎・初沢実：施工法の組合せによる工程計画の評価方法についてーケーソン工事への適用ー，第8回業務研究発表会論集，PP.3～24，建設コンサルタンツ協会近畿支部建設技術資料センター，1975.
- 9) 川崎健次：建設工事における工務管理の合理化に関するシステム論的研究，PP.111～117，学位論文，1974.
- 10) 前出1) .
- 11) 川崎健次・田坂隆一郎・笹嶋博：大規模ケーソンにおけるコンクリート打設作業の解析ーシミュレーション手法の適用ー，第5回業務研究発表会論集，PP.23～58，建設コンサルタンツ協会近畿支部建設技術資料センター，1972.
- 12) 白石俊多：基礎工Ⅱ，土木学会監修土木工学叢書，PP.333～525，技報堂，1972.
- 13) 近藤泰雄・坂静雄編：コンクリートハンドブック，朝倉書店，1970.
- 14) 施工管理研究委員会：宅地造成工事における運土計画について，第4次報告書，PP.97～119，建設コンサルタンツ協会大阪支部建設技術資料センター，1971.
- 15) 日本電気情報処理教育部編：EDPS入門シリーズ4，シミュレーションプログラミング入門，日本能率協会，1970.

## 第5章 工程管理のトータルシステム化の方法に関する研究

### 第1節 緒 言

土木工事は一般に工事請負契約のもとに行われており、工事対象となる構造物の設計図書や品質・規格はもちろん、さらには工事の施工期間や施工費用なども工事の実施にあたっては外部的な強い制約条件として与えられることになる。このために、工事の運営管理にあたっては、各種材料の経済的な調達と規格・寸法・数量の検収、施工仕様に従った作業実施、個々の施工作業の安全性の確保および各構造物の品質水準の達成という工事施工の実施機能とともに、工事の施工結果が後続の施工作業や各種資源運用のスケジュールや工事日程に及ぼす影響、さらには最終的に必要とされる工事所要費用などを定量的に把握して解決すべき問題の抽出と講ずべき対策の立案を行うという工事施工の管理機能の確立を図ることが重要なことといえる。

工事内容が複雑でなく工事を取りまく施工環境もそれほど厳しくはなかった時代においては、計画段階では工事施工の力学的ならびに工学的合理性の検討を中心とする概略的な施工計画や工程計画の作成に留めておき、工事実施段階において工事の実施状況に合わせて施工計画の詳細を決定していくという方法でも、構造物の品質や工事期間や工事費用を所定の管理水準に確保しようとすることは可能であった。しかしながら、近年のように、工事の施工内容が高度化して複雑になり、施工環境の制約が厳しくなってくると、個々の施工作業の実施状況や各種工事用資源の運用状況の良否は工事の安全性や構造物の品質水準の確保に直接的な影響を与えることはもちろん、工事期間や工事費用などの全体的な管理目標の達成に対しても著しく影響を及ぼすものとなってきた。このために、計画段階においては施工計画や工程計画や作業計画をそれぞれのレベルと時期と調和して入念にかつ詳細に検討しそれらを施工仕様や施工管理目標として確立する必要が生じてきた。そして、工事実施段階においては工事の実施結果がそれらの基準値や目標値に対してどの程度の水準にあるかを敏速に把握して以後の工事施工を的確にコントロールしていくという、計画と施工と管理を一貫した方針のもとに進めていく非常に高度な管理体制の確立が要求されるようになってきているのである。このような土木工事施工の現状を考えると、従来におけるように安全性や品質に関わる施工技術の合理化を中心とする個別的なアプローチのみならず、工程や費用に関わる工事の運営管理の合理化をも含めた総合的なアプローチにもとづく工事管理のシステム化が緊急を要する課題になってきているといえよう。これまでに言及してきたように、とくに工程は工事計画作成の中心的な計画要素であるばかりでなく、工事費用や工事の安全性や構造物の品質の確保と密接に関係している工事施工の主要な管理要素でも

ある。本研究においては、こうした観点から工程管理を中心とする工事管理システムのプロセスについて考察するとともに、前章までの工事計画作成方法に関する研究成果を基礎とする工程管理の方法や施工実績の把握方法およびマクロな進捗管理の方法を明らかにして、工程管理のトータルシステム化の方法について実証的な考察を行うこととする。

## 第2節 工程管理を中心とする工事管理システムのプロセス

### 1. 工事管理のシステム化のプロセス

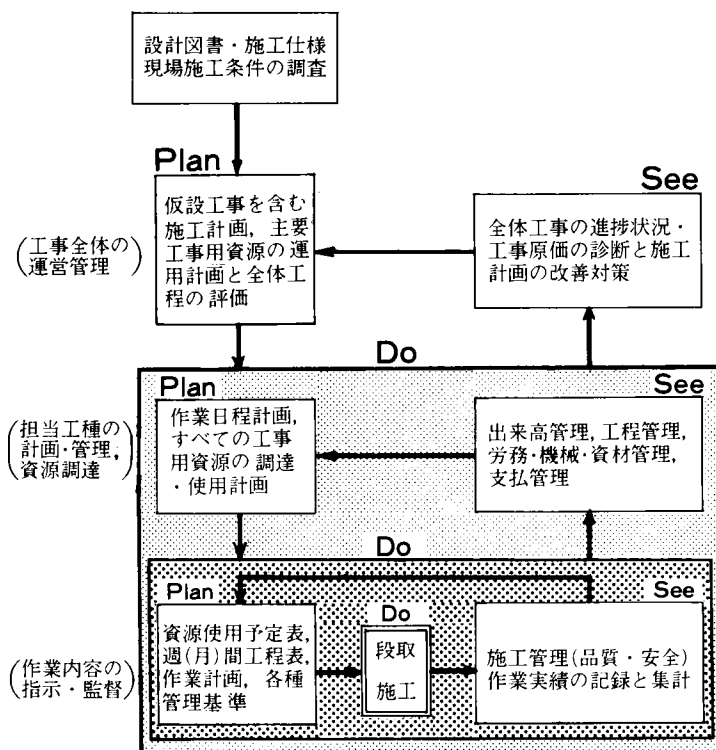
工事情報の調査・収集プロセス、工事の構想化プロセスおよび工事の実施計画作成プロセスの計画段階を通して、工事全体の施工計画、工程計画および作業計画が作成されると、それらは工事計画書あるいは施工計画書としてとりまとめられ、工事の実施段階に移行することになる。表－5.1は地下鉄工事の施工計画書の内容と対応する工事・工種における施工管理項目とそれぞれの施工管理基準をとりまとめて示したものである。これを見てもわかるように、工事施工に適用される管理基準は、各工事や各工種ごとに作成され、それぞれの工事や工種における個々の施工方法や作業手順、各種工事用資源の使用計画や搬入保管計画、工程計画、仮設備計画、各工事の施工状況に関する点検事項や方法、回数、基準を詳細にわたって示したものであり、工事の個別的な管理基準であるといえる。

しかしながら、これまでも述べてきたように、土木工事においては、設計図書や工事計画の構成要件に内包される不確定要因を完全に除去することは困難であり、何らかの形で不確実性を保有したままの状態では施工計画や工程計画や作業計画を作成していかなければならない。また、投入諸資源の品質水準や処理能力についても計画条件や調達条件の変化や過誤によって、さらに施工技術上の不確実性等によって、施工計画書に示されているとおりの品質や施工精度や処理能力をもたらしものとはならず、全く予想とは異なる施工状況を呈する場合さえ珍らしくはない。こうした状況があるために、これまでは、過去の工事経験を基礎とする施工努力によって対処する方法が主として取られてきた。これは、①計画段階で作成した施工計画を工事全体の中で各工種・各作業相互の関連性を明らかにした工程計画として表す方法が十分に確立されていなかったこと、②各月・各週の実施工程表の作成を全体工程計画との関連において行う方法が確立されていなかったこと、③工事の施工結果から施工実績を把握して施工計画や工程計画や施工管理基準と対比して工事施工の各レベル・各管理要素に関する進捗状況を把握する方法が明らかにされていなかったこと、④工事全体としての最終的な施工成果を総合的に把握する方法が確立されておらず、必要な対策措置に関して定量的に診断する方法が明らかにされていなかったこと、など工事計画・管理の未成熟さに起因するところが少なくない。こうした理由によって、工程計画のシステム化を中心として工事計画のシステム化を図ろうとする本研究の立

表－5.1 地下鉄工事の施工管理項目と管理基準

工種	点検項目	点検方法	点検回数	点検基準	工種	点検項目	点検方法	点検基準	実測値	備考
占用	ガードマンの配置、監視状況	目視	作業日		材料基準点	材料				
	許可条件通りか	目視	作業日			水準基準点測量	レベル	±0.3cm		
	保安設備の設置状態	目視	常時			敷付面測量	レベル	±0～20.0cm		
	交通流は円滑か	目視	常時			敷付状態	目視			
布張り覆工	土砂の飛散状況	目視	常時		敷付利	高低測定	レベル			
	掘削機械の整備状況	確認	作業日			敷砂利状態	目視	±0～5.0cm		
	覆工高さは適当か	確認	作業日			予定打設面高低測定	レベル	±0.3cm		
	覆工板の沈下はないか	目視	施工後			支柱杭清掃	目視			
杭	杭打機の点検	目視	作業日		基礎コンクリート	打設面	目視	±1.0以下		
	杭打足場の地盤点検	目視	作業日			防水工	防水層厚	設計値以上		
	杭吊り込み時の玉掛け	目視	作業日		鉄筋	主筋(本数、経)	目視、折尺			底床側部中央上床
	継手の位置及び施工は完全か	目視	作業日			主筋(高さ方向の間隔)	折尺	±0.5cm又は±1%の大きい方		
打ち	杭長は規定通りか	実測	現場搬入時			主筋(中方向の間隔)	折尺	±10%		
	モルタル配合は規定通りか	確認	現場搬入時			主筋(とおり)	目視			
工	根入部には所要長及び強度のモルタルが入っているか	確認	施工時		工	主筋(かぶり)	折尺	±0.5cm		
	鋼杭の立ち	実測	施工時	±5.0%		主筋(ベント位置)	折尺	±2.0cm		
	杭打完了後の機械の設置	確認	施工時			配力筋(本数、経)	目視、折尺			
	騒音対策	確認	施工時			配力筋(中方向の間隔)	折尺	±10%		
削土搬出	振動対策	確認	施工時		鉄筋	肋筋(経位置方向)	目視			
	鋼杭・モルタル杭の継ぎ目位置	実測	施工時			鉄筋のラップ長	折尺	2.0cm以上		
	泥土、油等の処理	確認	施工時			鉄筋の圧接	折尺	偏心鉄筋径が1/5とおり1/150		
	有資格者の確認	確認	施工時			鉄筋の結果	目視			
路面覆工	有資格者の確認	確認	施工時		ベースコンクリート工	止水	目視			
	車検証の確認	確認	施工時			基準線測量	トランシットテープ	±0.3cm		
	運搬経路の確認	確認	施工時			測量(すみ出し)	トランシットテープ	±0.3cm		
	積み過ぎ防止の確認	確認	施工時			型枠(状態)	目視			
交通安全工	飛散防止シートを張っているか	確認	施工時			型枠(位置)	トランシットテープ	±1.0cm		
	舗装は、整列しているか	目視	施工後		ハンチ側部コンクリート工	予定打設面の測定	レベル	±0.3cm		
	舗装との段差はないか	目視	施工後			止水板	折尺	±10cm		
	舗装は沈下していないか	目視	施工後		頂部コンクリート工	水	洗	目視		
重機関係	保安要員の配置は適当か	目視	作業日			打設設備	目視			
	占用許可条件に合致しているか	目視	作業日			打設面	目視	±1.0cm(但しコンクリート厚は1.0cm以上)		
	保安設備の設置状態はどうか	目視	常時			測量	トランシットテープ	±0.3cm		
	交通誘導員が適切な誘導をしているか	目視	作業日		型枠(状態)	目視				
覆	重機類の点検(ワイヤー台付他)	目視	作業日			型枠(位置)	トランシットテープ	±1.0cm(但し基準点からの寸法時は±1.2cm)		
	重機足場地盤の状態	目視	作業日			コンクリートの厚さ	折尺	±2.0～1.0cm		
	鋼材吊込み時の台付の掛け方	目視	作業日			レイタンス除去	目視			
	必要な免許書類は持っているか	確認	作業日		水	洗	目視			
工	材料は規定通りのものを使用しているか	確認	作業日			打設設備	目視			
	材料使用に先だち変形損傷はないか	目視	作業日		測	量	レベルテープ	±0.3cm		
	舗装に段差及びすき間はないか	目視	常時			型枠(状態)	目視			
	横断道路における現地盤とのすり付	目視	常時			型枠(位置)	レベルテープ	±1.0cm(但し水準基準点からの寸法時は±1.2cm)		
安全	開口部への転落防止柵は完全か	目視	常時		コンクリートの厚さ	折尺	±2.0cm～1.0cm			
	桁取付ボルトのゆるみの有無欠損	目視	常時			レイタンス除去	目視			
	つなぎ材の異常はないか	目視	常時			面荒し	目視			
	舗装本体の異状はないか	目視	常時			水	洗	目視		
教育	保護具等の着用の徹底	確認	作業日		打設設備	目視				
	資格の確認	確認	作業日			測量	レベルテープ	±0.3cm		
	安全協議会の開催	確認	作業日			型枠(状態)	目視			
	服装の状況	確認	作業日			型枠(位置)	レベルテープ	±1.0cm(但し水準基準点からの寸法時は±1.2cm)		
車輦その他の点検	運転者の免許有無	確認	作業日		側頂部防水工	コンクリートの厚さ	折尺	±1cm		
	車検証の有無	確認	作業日			縦方向内寸法	テープ	±5.0cm		
	指示通りの運搬経路を走行しているか	確認	作業日			縦方向 "	テープ			
	土砂等を積み過ぎているか	確認	作業日			部材寸法	テープ	±2.0～1.0cm		各構築柱位置(又は5cmおき)における寸法で図示する
荷台に飛散防止幕を張っているか	荷台に飛散防止幕を張っているか	確認	作業日		完了寸成構後築法					
	タイヤに泥の付着はないか	確認	作業日							

場があるのであり、施工に伴う諸問題を工事管理を中心とするプロセスの中で解決を図るとともに、工程計画・管理の体系化、システム化を通して工事計画・管理システムの構築を進めていくべきであろうと考えるのである<sup>1)</sup>。こうした工事計画・管理のシステム化の構想をその階層性を強調してとりまとめたものが図－5.1である。その内容を要約すると以下のように簡条書きに表すことができる。



図－5.1 階層性に注目した工事計画・管理のプロセス

ⅰ) 施工計画, 工程計画, (業務レベル) (計画段階) (実施段階)  
各種資源使用計画および  
作業計画にもとづく各種管理指標の作成,

- ⅱ) 全体工程計画にもとづく各月・各週の実施工程表の作成,
- ⅲ) 工事の施工実績の記録にもとづく工事の進捗状況の把握,
- ⅳ) 実績値と計画値(管理指標の値)との対比による工事の進捗状況の診断,
- ⅴ) 工事の施工管理目標の達成に必要な対策の立案と検討,
- ⅴ) 工事計画の変更と更改計画にもとづく工事の実施。

以上のような手順にしたがって行われる工事管理は、工事の進行と一体化して、つまり工程管理を通して行われるのであり、そのシステム化は工程管理システムの構築が基礎となることは容易に推察することができるであろう。

## 2. 工事管理システムにおける評価要素<sup>2)</sup>

工事の進行の状況は工程を通して明らかになるが、工事の進捗状況の評価要素としては次の3つの要素に分類することができる。

- ① 各構造物の施工状況に関する評価要素,
- ② 各工種における資源投入状況に関する評価要素,

### ③ 各作業の実施状況に関する評価要素。

土木工事の施工内容は各工種の作業内容や工事用資源の種類と対応して種々の次元のもので構成されており、すべての工種に共通な次元としては時間と費用に限られる。このために、工事全体としての管理目標あるいは管理指標を任意に設定することは困難とされ、一般には工事期間や工事費予算が全体的な管理目標として用いられている。しかしながら、施工途中の各時点における工事の進捗状況や消化状況は各工事、各構造物、各工種、各作業の進捗状況や各種工事用資源の投入・消化状況として個々別々に把握される。つまり、それらを用いて工事全体の進捗状況や実施状況を評価するためには何らかの体系的あるいは構造論的な方法の導入が必要であり、そのような方法論の導入は工事管理のシステム化における主要な課題の1つであるといえる。

工事の完了した構造物部分を「出来形」と呼ぶことにすると、その部分の工事数量は「出来形数量」と呼ばれ、各工事や各構造物それぞれに特有の次元で表される。また、各構造物の工事に投入される資源数量は各構造物、各構造物部位ごとに算出されるが、各種工事用資源の調達と運用のために各工種ごとに取りまとめられているのが普通である。消化した工事数量や投入した資源数量を費用的側面から捉える場合には、工事数量に関しては各構造物における出来形数量に対する工事出来高（予定収入金額）として把握され、資源数量に関しては各工種における投入資源数量に対する工事支払高（予定支出金額）として把握される。工事の進捗状況はその時点までに施工した構造物の工事数量とそのために投入された資源数量をその時点までに消化した工事日程によって評価するものであるが、そのための基本的な要件は構造物を基準とする工事数量（もしくは工事出来高）と工種を基準とする資源数量（もしくは工事支払高）が工事日程を通して対比可能なことである。これに関しては、ネットワーク表示された工事日程を通して各作業の実施状況を把握するとともに、各作業の施工内容と構造物および工種との対応関係を明示的に表わす方法を用いている本研究の工程計画作成方法を工事の実施・管理段階においても適用可能なように拡張することは有効な方策であるといえよう。

工事の進捗状況の評価には、上述のようにネットワーク手法を用いて工事の実施状況を分析的に捉えようとする方法のほかに、工事出来高の推移状況を表す出来高曲線を用いて工事の進捗状況を概略的にマクロ的に把握しようとする方法が考えられる。出来高曲線は工事の施工期間を横軸として工事出来高を縦軸として各月の工事出来高の累積値をプロットしたものであり、工事の推移状況を工事金額と工事期間の両面についてマクロ的に表す指標であるとして一般に受け取られている。しかしながら、出来高曲線に関する管理的特性については定性的な特徴が考慮されている程度であって、工事種類や工事規模との関係、各管理要素と出来高曲線形状との関係、出来高曲線の数理的特性等に関する定量的な側面についてはほとんど明らかにされていないのが現状である。そこで本研究においてはこれらの諸特性の統計的側面を中心として分析することにより、工事施工のマクロな進捗管理の方法について考察することとする。

さて、こうした工事の進捗状況の評価や進捗管理は工事の実施状況を的確に把握することによってはじめて可能となる。通常の場合、各構造物や各工種の施工状況の測定は出来形測量によって行われ、工事現場における工事用資源の搬入出の状況は入出庫伝票によって記録することができる。つまり、資材や機械の現場在庫状況については入出庫伝票によって把握することができ、施工の完了した構造物部分の使用材料数量や施工数量については出来形測量によって算出することができる。したがって出来形測量や入出庫伝票の集計処理を一定期間ごとに行うことによってそれぞれの期間における工事施工数量や資源投入数量を把握することができる。しかしながら、このような方法では、各期間における個々の施工作業の実施状況を把握することができないために、工事施工数量と資源投入数量の実績値の対比において現在の工事の進捗状況を評価することができない。つまり、工事の進捗状況を定量的に把握するためには、何らかの方法によって日々の施工作業の実施状況の記録から、各期間における工程の進捗状況を明らかにする必要がある。本研究においては、どの工事現場においても日々の施工記録として用いられ、工事現場で行われたすべての施工作業の内容とその実績値が記載されている工事日報を利用することにより、各施工作業の処理実績と資源投入実績とから工程の進捗状況を把握する方法について考察することとする。

### 3. 工程管理のシステム化の課題

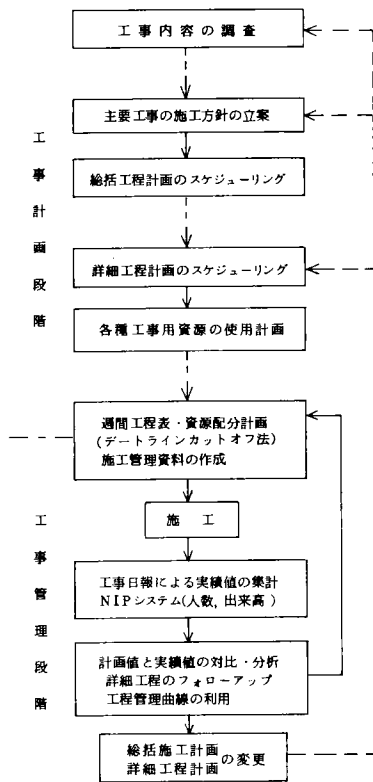
前項における考察から、工程管理に必要な手順をとりまとめると、次のようである。すなわち、

- i) 全体工程計画にもとづく月（週）間の実施工程表の作成およびそれにもとづく資源調達、作業打合せ、
- ii) 作業指示書にもとづく工事の実施と施工結果の記録、
- iii) 工事の施工実績値と計画値もしくは施工管理基準との対比による工事実施状況の評価分析、
- iv) 工程計画のフォローアップや工程管理曲線の分析にもとづく工事進捗状況の診断、
- v) 施工計画および工程計画の更改とそれにもとづく工事の実施。

以上の工程管理のプロセスと対応して本研究において考察するいくつかの課題を工程管理システムのフローとして図示したものが図－5.2である。

全体工程計画から各月各週の実施工程表の作成方法としては、米国スタンフォード大学のフォンダー教授が開発したデートラインカットオフ法<sup>8)</sup>を援用した方法を考案している。これによって、ネットワークモデルで表された全体工程計画から、工程上の各ルートの所要残日数を明示した状態で、つまり、全体工程との関連性を定量的に評価しうる状態で、任意期間の部分工程表を作成することができる。また、各月あるいは各週の終りにおける完了作業がわかると、工事の進捗状況が概略的に把握されるが、それらの完了作業を用いての全体工程計画の更新の方法、すなわち、工程ネットワークのフォローアップの方法については、地下鉄工事への適用事例をも含めて考察する。





図－5.2 本研究における工程管理プロセスのフロー

次に、各工事現場で毎日記録されている工事日報から工事の施工実績値を集計する方法について、NIPシステムと呼ばれる工事日報処理システムの適用事例と課題について考察する。

以上の作業レベルや工種レベルを中心とするミクロな工程管理に対して、マクロな工事進捗状況を表している出来高曲線とバナナカーブとして一般に知られている工程管理曲線について統計的な分析を試み、マクロな進度管理の方法について考察する。

### 第3節 ネットワークモデルによる工程管理の方法と適用事例

#### 1. ネットワークモデルによる工程管理の課題

工程計画が確立されて実際に工事を行う段階になると、一ヶ月間あるいは一週間を単位とする実施工程表が作成される。工事を進めていく基礎となる実施工程表は、降雨等の不確定な要素による影響や作業員・各種資機材の調達条件その他による制約を考慮しつつ、全体工程計画の枠組みのもとにその期間に達成すべき施工目標を設定し、調達した工事用資源をできるかぎり効率よく運用するように作業日程を定めたものである。したがって、各期間の実施工程表は、全体工程計画の中から該当する期間のスケジュールを抽出し、それを実際の工事施工における作業内容や各種工事用資源の運用方法に照して調整したものであるということができよう。しかしながら、現実には、以下に述べるようなネットワーク手法の適用上の問題のために、ネットワークモデルを用いて作成した全体工程計画は実際の施工工程から次第に遊離していってしまい、工事の進行状況とかけ離れた存在となっていく場合が少なくないというのが実情のようである。

- ① ネットワークモデルで表された全体工程計画から、工程管理指標を備えた実施工程表の作成方法

が明らかにされていない。

② 工事内容が細分化され、順序関係が複雑なために、工程ネットワークデータの変更や追加・削除の処理が煩雑である。

③ ネットワーク工程表の表示内容がわかりにくい。とくに、アロー型ネットワークの場合には、実際の施工工程の状況と工程ネットワークの構成内容との対応関係が一見してわかりにくく、工事の進行状況に合せての工程計画内容の修正や変更を困難にする主要原因の1つとなっている。

これらの問題の中の③については、すでに第4章で明らかにしたように、工程上の作業とネットワーク上のノードとが1対1に対応しているプレシーデンス型ネットワークの導入を図かること、ネットワーク上のアクティビティ番号を施工ブロック、構造物部位、工種、作業の各コード番号の組合せとして表わすことにより施工工程との対応関係を明示すること、ネットワーク工程表を漢字混りかな表示にすること、などによって対処することができる。

本研究においては、上述の①および②の課題に対処するための方法を明らかにすることにより、ネットワークモデルによる工程管理の方法について考察する。

## 2. デートラインカットオフ法を援用した実施工程表の作成法<sup>4),5),6)</sup>

工事の実施工程表は、各月、各週の施工工程の施工順序、仮設資材の転用方法、大工や鉄筋工等の職種別作業員の手配状況と処理能力などを検討して、工事用資源の運用にできるだけロスがなく、しかも安全にかつ確実に実施することのできるスケジュールとして決定されるべきである。一方、ネットワークモデルを用いて作成した工程計画の長所は、工程上の各作業を工期との関係および資源山積み図との関係において全体工程の中で位置づけることができるというところにある。本研究においては以下に述べるデートラインカットオフ法を援用することにより、

① 各工程経路の所要残日数を表示した部分工程表（これをデートライン工程表と呼ぶことにする）。

② 各作業の資源使用状況を区分した資源山積み図、

を用いて、有効な実施工程表を作成しようとするものである。

さて、デートラインカットオフ法では、図-5.3に示すように、プレシーデンス型ネットワークで表示された工程ネットワークの中に、工事期間中のある期日にデートラインを設定する。次に、デートラインによって2つの部分に切断されたそれぞれの工程経路について、デートライン以降の経路をただ1つの仮想のアクティビティで置き換える。新しく置き換えたアクティビティの所要日数として元のネットワークにおけるデートライン以降の最長経路の所要日数を用いるものとする。このようにして新しく造られた工程ネットワークを示すと図-5.3の下の方の図のようになる。すなわち、デートライン以前の工程ネットワークの構造は全く元のままの状態ですべての工程経路の最長所要日数、つまり、所要残日数が求められることになる。

この方法を援用すると、次のようにして任意の期間の部分工程表を合理的に作成することができる。すなわち、部分工程表の期首と期末の期日を指定し、期末の翌日にデットラインを設定して上述の方法を適用する。このとき、デットライン以降の新しく置換したアクティビティの所要日数はその工程経路のデットライン以降の最長経路

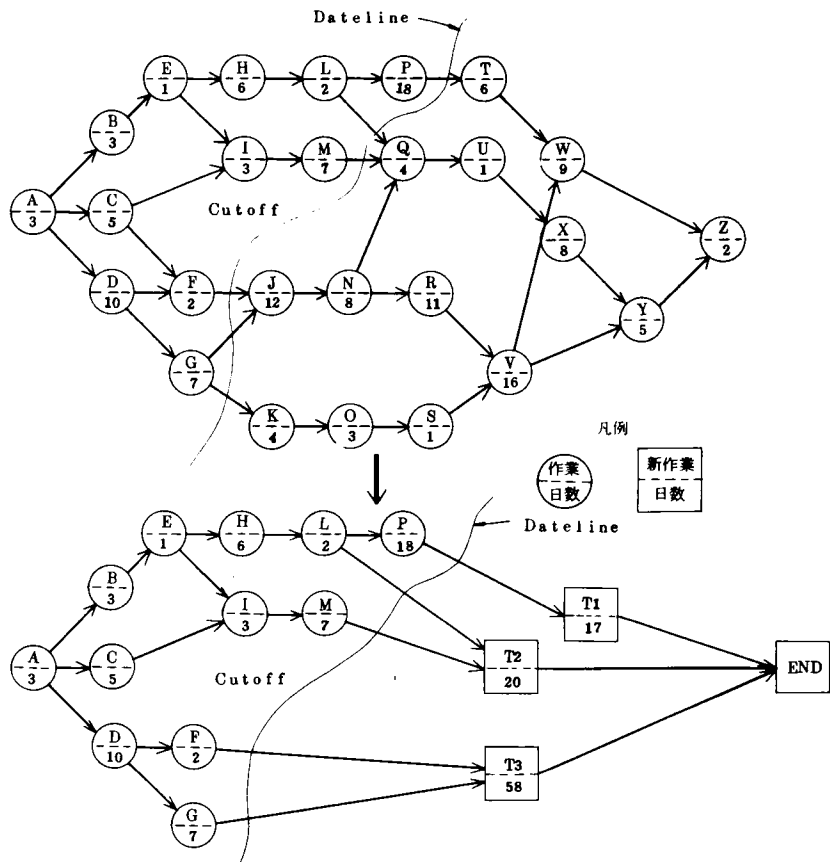


図-5.3 デットラインカットオフ法のモデル図

の日数であるから、それは各工程経路のデットライン以降の所要残日数を表すものといえる。一方、デットライン以前の各アクティビティは元の工程ネットワークのスケジュールと同じであるから、指定された期首の期日と期末の期日の間にあるアクティビティを抽出することにより、各工程経路の所要残日数を付加した部分工程表を作成することができる。それと同時に、抽出した各アクティビティのスケジュールからその部分工程表に対応する資源山積み図を作成することができる。図-5.4は、デットラインカットオフ法を援用した部分工程表の作成手順をフロー図として示したものである。

図-5.5はこの方法を適用して地下鉄工事の月間工程表を作成したもので、図-5.6は月間工程表に対応する資源山積み図（鉄筋工の場合）である。

デットラインカットオフ法を援用して作成した月間工程表には、それぞれの工程経路の右端にはその工程経路の所要残日数を表示しているので、所要残日数の大きさを比較することにより各工程経路の工期に対する関係を定量的に評価することができる。また、月間工程表の調整にあたっては、資源山積み図を利用することにより、作業員の制約を満足するかどうかを評価することができるので、合理的なスケジュールを求めることができる。

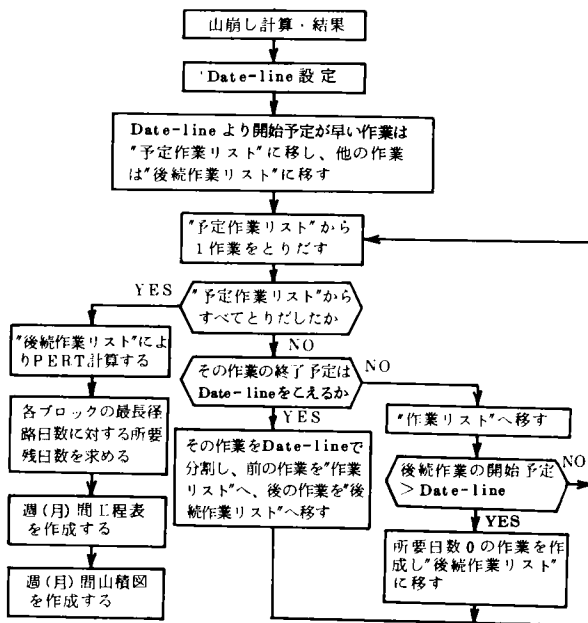


図-5.4 デートラインカットオフ法を援用した月間工程表の作成法

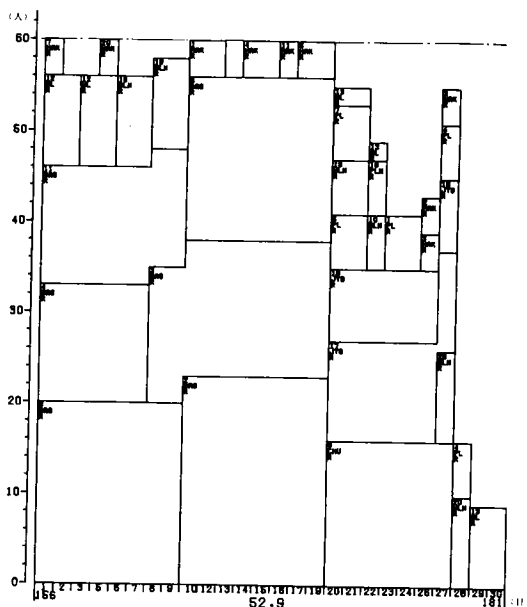


図-5.6 月間工程表と対応して作成される資源山積み図(鉄筋工の例)

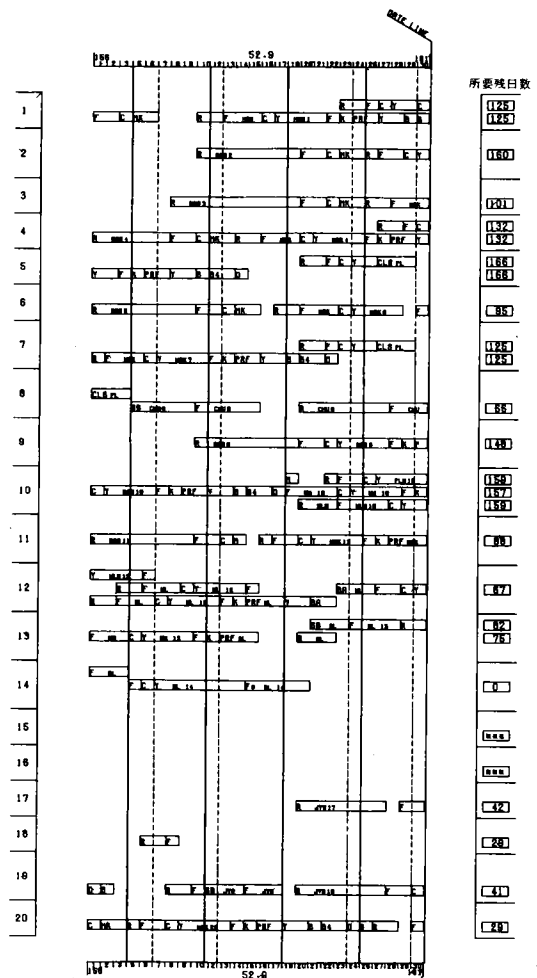


図-5.5 デートラインカットオフ法による月間工程表の作成(大阪市南部の地下鉄工事例)

以上に示した方法を適用して実施工程表を作成していくのであるが、その手順を取りまとめて示すと以下のようなものである。すなわち、  
手順1：まず、ネットワークモデルを用いてPERT計算および山崩し計算を施して工事全体の詳細工程計画を事前に作成しておく。

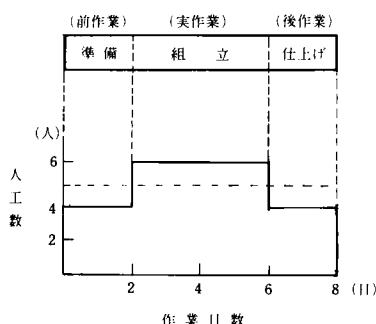
手順2：次に、現在時点における工程上の諸問題、すなわち、各施工ブロック・

各構造物部位の着手時期、仮設資材の転用計画、各職種の投入人数の制約、各作業の日程的な関連性などを検討して、実際の施工状況を合理的に反映したものとなるように、工程ネットワークのフォローアップ処理を行う。

手順3：図－5.4に示した方法を適用してデートライン工程表およびその資源山積み図を作成する。

手順4：各作業の内容を検討して、図－5.7に示すように実作業と前作業、後作業が質的に異なる場合にはそれぞれを別個の作業として取り扱う。また、作業員等の使用状況の調整にあたってはデートライン工程表の各工程経路の所要残日数の大きい作業を先行的に処理するように配置する。

(a) 作業分割



(b) 作業名とアクティビティ番号の対応

作業区分	アクティビティ区分	アクティビティ番号			大工 (人)	所要日数 (日)
		ブロック	部	工前作実・後業		
準備		11	10	10	1	4
組立		11	10	10	2	6
仕上げ		11	10	10	3	4
型枠組		11	10	10		5

↑ 日程計算に用いる作業名

図－5.7 作業内容の実作業と補助的作業への分解

以上のような手順にしたがって、各月・各週の実施工程表を作成するわけであるが、これまでにも述べてきたように、工事計画上あるいは工事施工上その他の種々の側面において不確定な要素が多く、工程計画の内容と実際の工事の施工工程にかい離が生じてくることは避けられないことである。このために、全体工程ネットワークのフォローアップ処理を行って、工程計画の内容が現在の施工状況を合理的に反映するものであるように調整を施す必要がある。

### 3. 工程ネットワークのフォローアップの方法<sup>7)</sup>

#### 3.1 工程計画の更新処理に伴う課題

工事の実施段階において、実際の工事の進行状況と工程ネットワークによって表されている工程計画の内容との間の差異が著しくなってくると、全体工期、工事進捗状況の遅速、工事用資源の調達運用方針、各作業における処理能力の変化、施工計画の変更、関連工事や周辺環境からの制約を考慮して、工程計画の更新処理、つまり、工程ネットワークのフォローアップを行う必要が生じる。

工程計画の更新処理は、次のような手順で行われる。

- ① 現在時点における工事施工の進捗状況の把握，
- ② 現在時点における工程ネットワークスケジュールの更新処理とその結果の評価，
- ③ 管理目標の達成に必要な対策の立案と実施案の選択。

工事施工の進捗状況は工事の種々の要素や側面やレベルにおいて実績値を把握して計画値との対比を行ってそれらを総合的に評価しなければならないが，工程計画の更新処理について考える場合には現在時点での完了作業および施工中作業が工程ネットワーク上のどのアクティビティに相当するものであるかが明らかにされればよい。

工程ネットワークスケジュールの更新処理は，実施工の進捗状況に合わせるための工程ネットワークの調整と，施工実績にもとづく各作業の所要日数や投入人数や処理能力および作業間順序関係の修正処理がある。このようにして工程ネットワークスケジュールの更新計算を行い，現在時点以降の工程計画における問題点を抽出することになる。通常の場合，単に工程ネットワークの更新処理のみでよいケースは少く，ほとんどの場合，現在以降の工事の進展状況の予測を行うことによって今後の施工工程の改善案を作成することが必要とされる。

工程ネットワークの更新処理の結果，当初予定の工事期間を超過することが明らかになると，何らかの対策を講じて予定工期内に納まるようにしなければならない。そのための方法として，次のような手段を考えることができる。

- ① 工程ネットワークを構成する各作業の所要日数の短縮，すなわち，作業処理能力の向上，
- ② 工程ネットワークの技術的な順序関係の変更，すなわち，作業方法および作業順序の変更，
- ③ 工程ネットワークの管理的な順序関係の変更，すなわち，各種投入資源の運用方針の変更，
- ④ 工程ネットワークの全体的な変更，すなわち，施工計画内容の変更。

施工計画内容の変更は工事の施工方針の変更であるから，工事の工程的側面や費用的側面のみならず工事現場の運営管理全般に影響するものである。また，工事用資源の運用方針を変更させることは費用負担の増大のみならず工事用資源の投入数量や運用順序の変更も必要とされ，工事の施工速度にも影響することがある。作業方法や作業順序の変更は施工技術的側面から安全性の検討が必要であり，そうした作業方法や作業順序で施工するために補助的な作業が必要とされるかどうかを明らかにして工程改善効果と費用負担の増大の有無について評価しておかなければならない。各作業の所要日数の短縮の方法としては，作業員の投入人数の増加，処理能力の高い作業員の調達，作業時間の延長による1日処理能力の向上など種々の方策が考えられる。各作業への投入人数の増加は工事全体における投入人数の増加と関連し，その他の方法もいずれも費用増加を伴うものとなる。

さて，上述のような方法・手段を用いて工程の改善を行うとき，それらをいかに効果的に適用するかが重要な課題となるが，その場合の基本的な考え方として次のものを上げることができる。

- ① 工事全体から捉えて日程的な重要度の高い（クリティカルな）工程系列，または工種や作業，

- ② 日程短縮の効果の大きい工程系列または工種や作業，
- ③ 施工計画への影響の小さい工程系列または工種や作業。

これらの工程系列または工種や作業に該当するものを抽出するための指標としては、工程ネットワークのスケジュール計算結果から

- ① トータルフロート（TF），
- ② 作業所要日数（d），
- ③ 作業投入人数（m），

などを単独にもしくは複合的に組合せて用いればよい。

ただし、これらの方法・手段を適用して工程の改善を図るに際しては、その他の計画・管理的側面すなわち、

- ① 工事施工の経済的側面，
- ② 施工技術的側面，

の両側面から、作業間の順序関係、隣接施工ブロックや隣接部位との相互関係、他工種との施工処理能力のバランスなどについても検討することが大切である。

実際の工事においては、工程計画の更新処理は工事施工業務や工事管理業務の多忙な時期に必要とされることが多く、そのような状況のもとで工事の施工実績を整理して工事計画の検討や工程ネットワークのフォローアップを迅速に行うためには、全体工程計画の確立とともに合理的なフォローアップの方法の確立が重要なことといえる。

### 3.2 フォローアップのためのネットワークデータの処理方法<sup>8),9)</sup>

これまでの考察をもとに、ネットワークモデルによる工程計画・管理の処理事項と内容項目をとりまとめて示すと、表－5.2 のようである。また、これらの処理事項の中で、工程管理においてとくに必要とされる工程ネットワークのフォローアップの処理手順は、すでに、図－2.5 のフロー図で示したとおりである。そのフロー図の中で、工程ネットワークのフォローアップに関連して煩雑なデータ処理をとまなうのは、ネットワークデータの更新と修正の部分であり、これらの処理方法を簡便にすることはフォローアップを容易にし、ひいては工程管理の方法の合理化やシステム化に寄与するものとなる。

さて、こうした観点に立って、ネットワークデータの更新と修正に注目すると、その処理内容は図－5.8 に示すように4つのパターンに分類されることがわかる。すなわち、工程計画の変更処理作業は、

- ① 作業内容（作業数量、所要日数、作業人数、作業処理能力）の変更，
- ② 作業の削除，

表-5.2 ネットワークモデルによる工程計画・管理の方法

工程計画・管理の作成手順	工程計画・管理の内容項目
工程ネットワークデータの作成	(作業内容) ① 工事内容のブロック、部位、作業への分解、 ② 各作業の施工数量、処理能力、投入人数、所要日数の算定。
	(順序関係) ① 構造物の施工順序を表す技術的な順序関係の作成、 ② 工事用資源の運用順序を表す管理的な順序関係の作成。
PERT計算	1. 作業 $i$ の $ES, EF, LS, LF, TF, FF$ 、 2. $\bullet$ の所要日数 $d$ 、投入人数 $r$ 、 3. $\bullet$ のトポロジカルオーダリング番号 $N$ 。
山積み・山崩し計算	(スケジュールの方法) ① 現在時刻で資源制約を満たす作業のみをスケジュール ( $i$ ) $ES$ , ( $ii$ ) $LS$ )、 ② 当該作業が着手可能な時刻にスケジュール。
	(着手可能条件) ① 作業 $i$ の $ES \leq$ 現在時刻、 ② すべての先行作業が完了、 ③ 作業 $i$ の投入人数が使用可能。
	(優先順位の規則) ① 基準 I ( $LS, TF, FF$ )、 ② $\bullet$ II ( $d, N$ )、 ③ その他の基準 (当該作業の重要度など)。
計算結果のアウトプット	① 工程計画データリスト ② 工程表 ③ 職種別資源山積み図
工程のフォローアップ処理	(工程ネットワークの更新) ① 完了作業の実績値の集計・整理 ② 施工中作業・未施工作業の更新 ③ 現在時点での PERT 計算・山積み山崩し計算
	(工程のリプランニング) ① 作業内容 (投入人数、処理能力、所要日数) の変更 ② 施工方法 (作業の削除、挿入、分割、施工順序) の変更 ③ 工事用資源の投入数・運用順序の変更

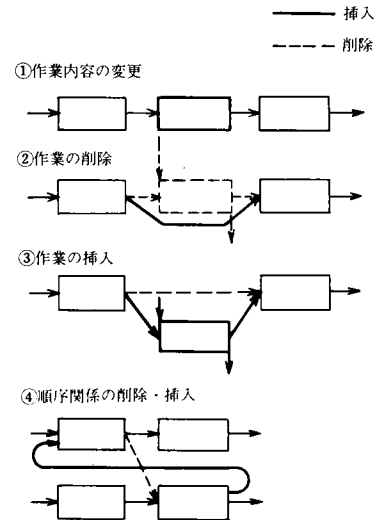


図-5.8 ネットワークデータの修正パターン

- ③ 作業の挿入，  
④ 順序関係の削除，  
⑤ 順序関係の挿入，

というように、工程ネットワークにおける作業データの変更・削除・挿入と順序関係データの削除・挿入の処理に帰することとなる。

本研究においては、これまで一貫して、工程ネットワークの構造と実際の

施工工程とが1対1に対応しているプレシーデンス型ネットワークを用いてきたが、ネットワークデータの入力や修正における特徴は作業データと順序関係データを区別して処理することであった。また、工事内容を、A（施工ブロック番号）、B（構造物部位番号）、C（工種番号）、D（作業番号）という4段階に区分することにより、工事を構成するすべての作業をこれら4段階のコード番号の組合せによって工事全体の中で一意性を保持した状態の作業番号として表すことができる。それらをプレシーデンス型ネットワークにおける作業番号として用いることにより、実際の工事の施工工程との対応関係が明白な工程ネットワークを作成することができる。このとき、ネットワークデータ、すなわち、作業データと順序関係データの処理に関して、次のような特長を認めることができる。



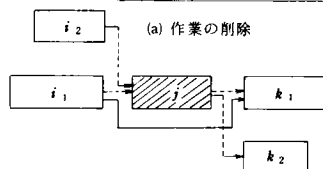
まず、順序関係データに注目すると、同じ施工ブロック番号を持つ作業間の順序関係は技術的な順序関係であり、施工ブロック番号が異なり同じ工種番号を持つ作業間の順序関係は管理的な順序関係である。順序関係の挿入は技術的な順序関係と管理的な順序関係の両方とも新たに付加するだけでよいが、順序関係の削除については取り扱い方が異なる。すなわち、管理的な順序関係の削除は新たな順序関係の挿入を伴う必要はないが、技術的な順序関係を削除する場合には削除部分と対応する新たな技術的順序関係を挿入しなければならない。

次に、作業データについては、各作業の施工数量、所要日数、作業人数、作業処理能力の変更は、通常の場合、各工種ごとに行われるから、工種番号および作業番号ごとにデータを作成すればよい。また、作業データの削除は、作業データファイルから該当する作業データの削除とともに順序関係データファイルから技術的な順序関係の削除と管理的な順序関係の削除を伴うことになる。したがってこの場合には該当部分に新たな順序関係を挿入するか、自動的に発生させるかのいずれかの処理が必要である。作業データの挿入の場合には、挿入部分の先行作業および後続作業を指定して技術的な順序関係を発生させると同時に挿入前のその部分の技術的な順序関係を削除して冗長な関係を除去しなければならない。なお、順序関係データの削除を伴う修正処理においては順序関係のブレイクチェックが必ず必要であり、順序関係データの挿入を伴う修正処理では順序関係のループチェックが必要とされることになる。

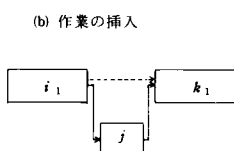
以上のような工程データの修正処理プログラムの設計については第4章においてすでに述べたとおりであるが、工程データの修正パターンに注目した修正データの入力パターンとその処理プロセスの説明を表-5.3のようにまとめることができる。

表-5.3 工程修正データの入力パターンと処理プロセスの説明

修正のパターン	ネットワークデータの処理
① 作業内容の変更	変更作業の作業データの入力
② 作業の削除	削除作業の指定入力
③ 作業の挿入	挿入作業の作業データの入力、 先行・後続作業の指定入力
④ 順序関係の変更	削除する順序関係と挿入する順序関係を区別して入力

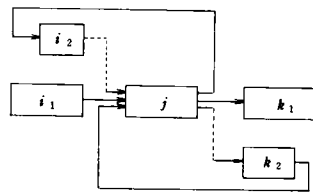


- ① 削除作業  $j$  を指定し  
作業データファイルから削除。
- ② 技術的順序関係から  
 $(i_1 - j)$  および  $(j - k_1)$  を削除。
- ③ 管理的順序関係から  
 $(i_2 - j)$  および  $(j - k_2)$  を削除。
- ④ 技術的順序関係に  
 $(i_1 - k_1)$  を挿入。



- ① 挿入作業  $j$  を指定し  
作業データファイルに挿入。
- ② 技術的順序関係から  
 $(i_1 - k_1)$  を削除。
- ③ 技術的順序関係に  
 $(i_1 - j)$  および  $(j - k_1)$  を挿入。

表－5.3 のつづき

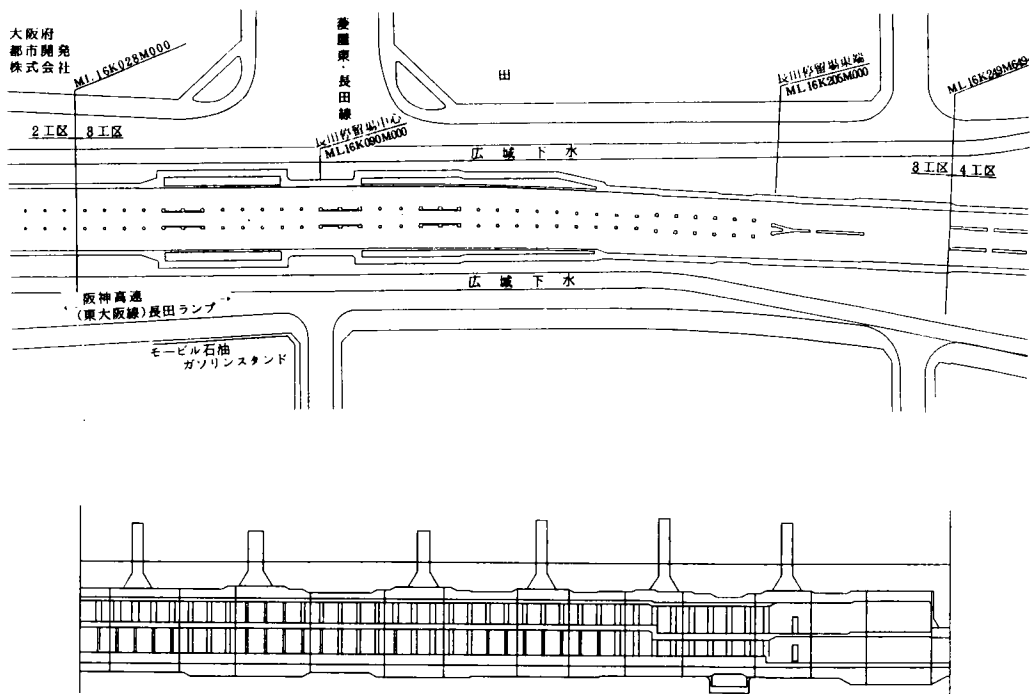


(C) 順序関係の変更

- ① 削除する管理的順序関係を指定  
( $i_2 - j - k_2$ ) を削除。
- ② 挿入する管理的順序関係を指定  
( $k_2 - j - i_2$ ) を挿入。
- ③ 順序関係のブレイク、ループの  
チェック。

#### 4. 地下鉄工事の構築工程の管理事例<sup>10)</sup>

第4章において、詳細工程計画の適用事例として取り上げた大阪市東部の地下鉄工事現場では、本研究の方法で作成した詳細工程計画を実施工程計画として採用することとしたが、掘削工事終期から構築工事着手時期の間に一部当初の方針と異なる施工順序を取らざるを得なくなった。そこで、当初作成した全体工程計画を以下のようにフォローアップすることとなった。下にブロック分割された当工事の側面図と平面図（図－3.26）を再掲することにする。



地下鉄工事（大阪市東部）の平面図および側面図

##### 4.1 構築工事着工当初における実施工程計画のフォローアップ

構築工程に入り約2ヶ月経過した時点で、掘削工程および隣接工区の工事進行の関係から当初計画の更新が必要となり、当工事の工期の制約をも考慮して種々の代替案について検討することとなった。

(1) 計画の更新に対する前提条件

1) 山崩し計算における制限

当初計画と同じ条件とする。

2) 更新時点での完了作業

現在時点で完了していない作業については、12月中完了予定作業を含めることとした。

- ① 3ブロック（底床鉄筋墨出しまで）
- ② 4ブロック（5段梁撤去まで）
- ③ 5ブロック（底床コンクリート水洗いまで）
- ④ 6ブロック（5段梁盛替えまで）
- ⑤ 7ブロック（ポンプ室コンクリート打設まで）
- ⑥ 11ブロック（中壁鉄筋組みまで）
- ⑦ 12ブロック（5段梁盛替えまで）
- ⑧ 13ブロック（5段梁撤去まで）

3) 型枠支保工の転用順序の変更

隣接工区との関係から、中床部型枠支保工について、

（13ブロック→12ブロック→11ブロック→10ブロック）

を

（12ブロック→13ブロック→11ブロック→10ブロック）

と変更する。

(2) 工程計画の検討方針

はじめに、型枠支保工の転用順序を変更しない場合について山崩し計算を行うと当初計画の333日から345日へ12日間の延伸となった。それで、上記のとおりに変更して以下の検討を行った。

① 山崩し計算法における優先順位の基準の検討

山崩し計算法では最適解を保証する有効な方法は現在のところ明らかにされていないので、つぎの2つの基準を比較することにした。

- a. PERT計算を毎時刻行って全余裕日数で山崩し計算の優先順位づけを行う方法（TFと表すことにする）、
- b. 当初のPERT計算結果から求められる最遅開始日で山崩し計算の優先順位づけを行う方法（LSと表すことにする）。

② 隣接ブロックの作業との相互関係

4ブロックと5ブロックの間、および9ブロックと10ブロックの間で中床部と上床部の妻型枠外し作業の作業足場の確保の検討を行う。

③ 4ブロックと5ブロックの鉄筋組作業の順序関係

現在の工程では4ブロックを先行する状況となっているが、工程ネットワークのクリティカルパスを重視すると5ブロックを先行させることも考えられる。

3) 計算結果の考察

上述の工程計画の検討方針にもとづいて、3つの検討条件を組合せた16ケースについて山崩し計算を行って、その結果を表-5.4にとりまとめて示した。

工期から考えると、ケース3、ケース4、ケース9およびケース11の間には差がないと考えてよい。また、作業足場を確保するような順序関係を事前に与えていないケースでも計算結果はそれを満足するものになっていた。それで、各ケースの工

程表をプロッターで描かせることにより、全体的に見て型枠組立て作業と鉄筋組立て作業の関係が実際の施工状況に近いケース3を更改工程計画の実施案として採択することとした。

図-5.9は採択された更改工程計画をプロッターで出力したもので、漢字混りかな文字表示であるために見易く現場担当技術者ならびに作業責任者に配布して工程計画のスケジュールを周知徹底させることにした。

表-5.4 工程計画の検討条件の組合せに対する工事所要日数の比較

ケース	先行施工ブロック	山崩し計算方法	作業足場の確保		工事所要日数(日)
			9BLと10BL	4BLと5BL	
1	5ブロック	L S	有	有	338
2	"	"	"	無	338
3	"	"	無	有	331
4	"	"	"	無	331
5	"	PERT計算結果のT F	有	有	341
6	"	"	"	無	341
7	"	"	無	有	353
8	"	"	"	無	355
9	4ブロック	L S	有	有	334
10	"	"	"	無	337
11	"	"	無	有	333
12	"	"	"	無	349
13	"	PERT計算結果のT F	有	有	338
14	"	"	"	無	341
15	"	"	無	有	346
16	"	"	"	無	353

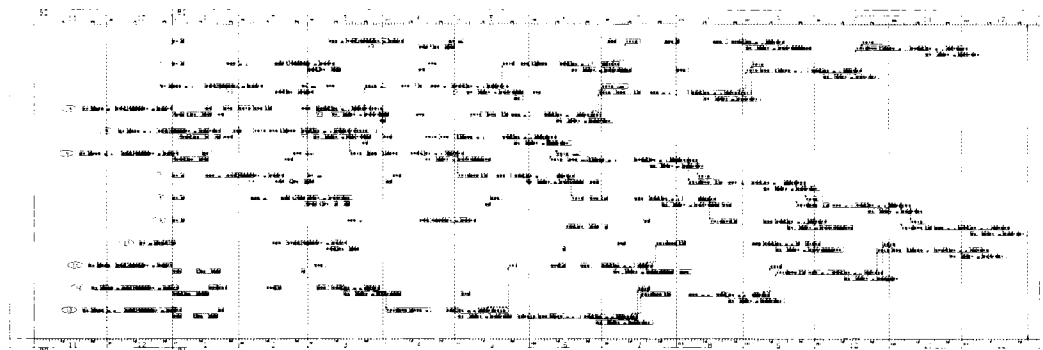


図-5.9 更改工程計画として採択された詳細工程表(12月末時点でのフォローアップ)

## 4.2 実施工程計画の更改と工期の短縮

当地下鉄構造物は上床スラブの上部に高速道路高架橋下部工のピア基礎が構築される構造となっている。こうした一体化した構造の地下鉄工事では、一般に、後続の高架橋下部工事の影響で工期が制約されることが多い。当工事では、当初、地下鉄工事の埋戻し工を含まないで昭和56年12月末を工期とする工程であった。しかし、後続の高速道路工事の制約から、高速道路のピア基礎部の施工および埋戻しを含めて昭和56年11月末を工期とするという変更が行われた。このため、全体工期を約2ヶ月短縮する必要が生じた。

### (1) 工程計画の更改に対する前提条件

#### 1) 山崩し計算における制限条件

当初工程計画の制限条件と同じである。

#### 2) 3月末現在での完了作業

- ( 1 ブロック ) : 中床部鋼管柱据付けまで
- ( 2 ブロック ) : 中床部鉄筋組み出しまで
- ( 3 ブロック ) : 中床部支保工組立てまで
- ( 4 ブロック ) : 中床部外防水工養生まで
- ( 5 ブロック ) : 中床部3段盛替え梁架設まで
- ( 6 ブロック ) : 中床スラブ妻型枠組みまで
- ( 7 ブロック ) : 中床部鋼管柱据付けまで
- ( 8 ブロック ) : 底床上片付けまで
- ( 9 ブロック ) : 底床部妻型枠外しまで
- ( 10 ブロック ) : 底床上片付けまで
- ( 11 ブロック ) : 中床壁型枠組みまで
- ( 12 ブロック ) : 中床部3段盛替え梁架設まで
- ( 13 ブロック ) : 中床部支保工外しまで

#### 3) 実績工程の表示

更改工程計画を作成する場合、更改時点までの実績工程を図示しておくことは工事の履歴を見直すうえで有効である。そこで、前回更改した工程表に対してコンクリート打設日を中心として実績工程を表示することとした。

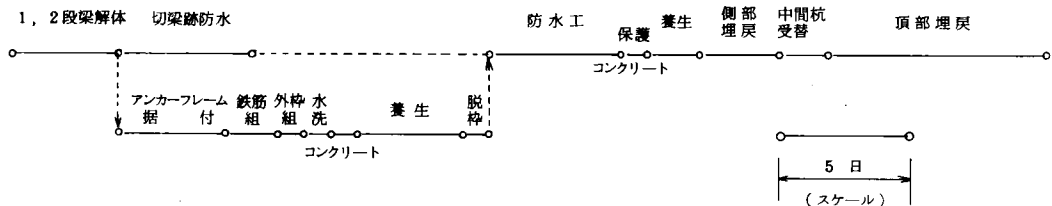
#### 4) コンクリート打設予定の表示

工程計画の更改時点で4月度のコンクリート調達予定と各ブロック、各部位のコンクリート打設日が決定されていたので、リードタイムを修正し、型枠組立て、型枠支保工組立ての所要日数を調整してフォローアップした工程計画がコンクリート打設予定日を満すようにすることにした。

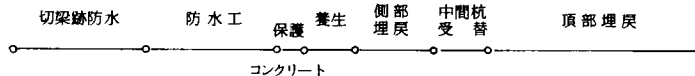
## 5) 高架橋下部工ピア基礎および埋戻し工の追加工程

地下鉄工事の各施工ブロックの後に図－5.10 の工程を追加する。

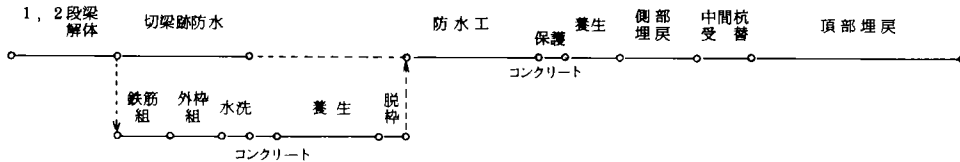
### ① 1ブロック追加工程分解図



### ② 2, 4, 6, 8, 10, 12, 18, ブロック追加工程分解図



### ③ 3, 5, 7, 9, 11 ブロック追加工程分解図



図－5.10 高架橋下部工ピア基礎および埋戻し工の追加工程

## (3) 工程計画の検討方針

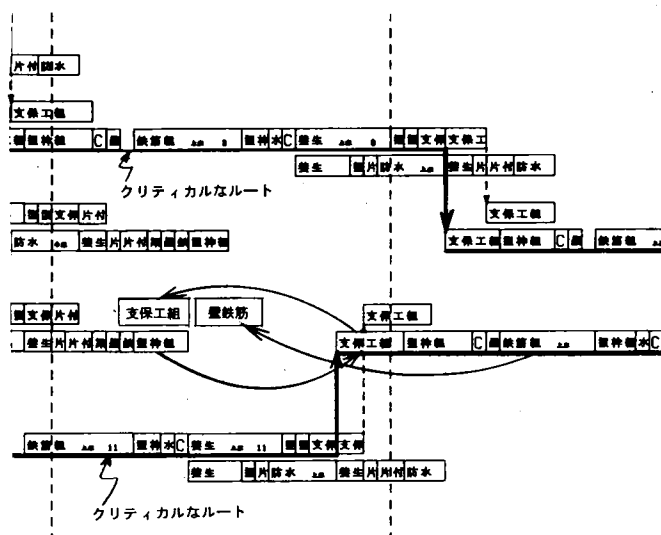
はじめに、工程を修正しない場合のスケジュール計算を行うと、PERT計算のみでは349日、山崩し計算をあわせて行くと360日の工事所要日数となり、ともに大幅な工期遅延が予想された。そこで、以下のような方法を検討することとした。尚、山崩し計算における優先順位の規則は前回の検討結果から、毎時刻PERT計算を行ってそうして求めたTFを用いる方法で行うことにした。

### (工程の短縮案)

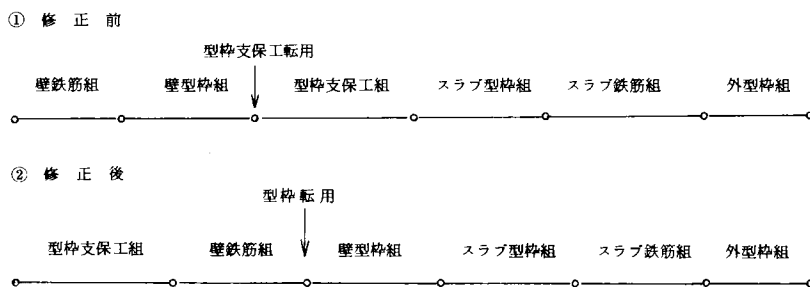
- ① 型枠の投入セット数を増加させる、
- ② 型枠支保工の投入セット数を増加させる、
- ③ クリティカルパス上の仮設材の組立てから外しまでの所要日数を短縮する、
  - a 鉄筋工の1日処理能力を大きくする、
  - b 型枠大工の1日処理能力を大きくする。
- ④ 仮設材の転用回数および転用順序を変更する。

こうした案を日程や費用の両側面から検討した結果、型枠支保工の投入セット数を増加し、中床部および上床部の壁鉄筋組みの作業を先行的に行うものとしてクリティカルパスの経路から外すことにした。そして、さらにクリティカルパス上の型枠組立て、鉄筋組みの所要日数を短くすることとした。つまり、上記の②案と③案を組合せたものとした。

図一 5.11 は、工程短縮の方法を工程ネットワーク上に図示したものであり、図一 5.12 は工程の修正前と修正後を比較して示したものである。



図一 5.11 工程ネットワークの短縮案



図一 5.12 クリティカルパス部分の作業工程の変更

#### (4) 更改工程計画の作成

上記の検討を経て、型枠大工と鉄筋工の処理能力を種々のケースに変えて望ましい工期を与える工程が得られるかどうかを検討することにした。すなわち、まず、型枠大工と鉄筋工の1日の処理能力をそれぞれ①現状の能力、②1割アップ、③2割アップとしてPERT計算を行い、工期の制約を満すと思われる代替案を探索した。これから、型枠大工については少なくとも1日の処理能力を2割アップしなければならないことが明らかとなった。次いで、それぞれの代替案に対して山崩し計算を行って、最終的に工期の制約を満足する代替案を選択することにしたのである。

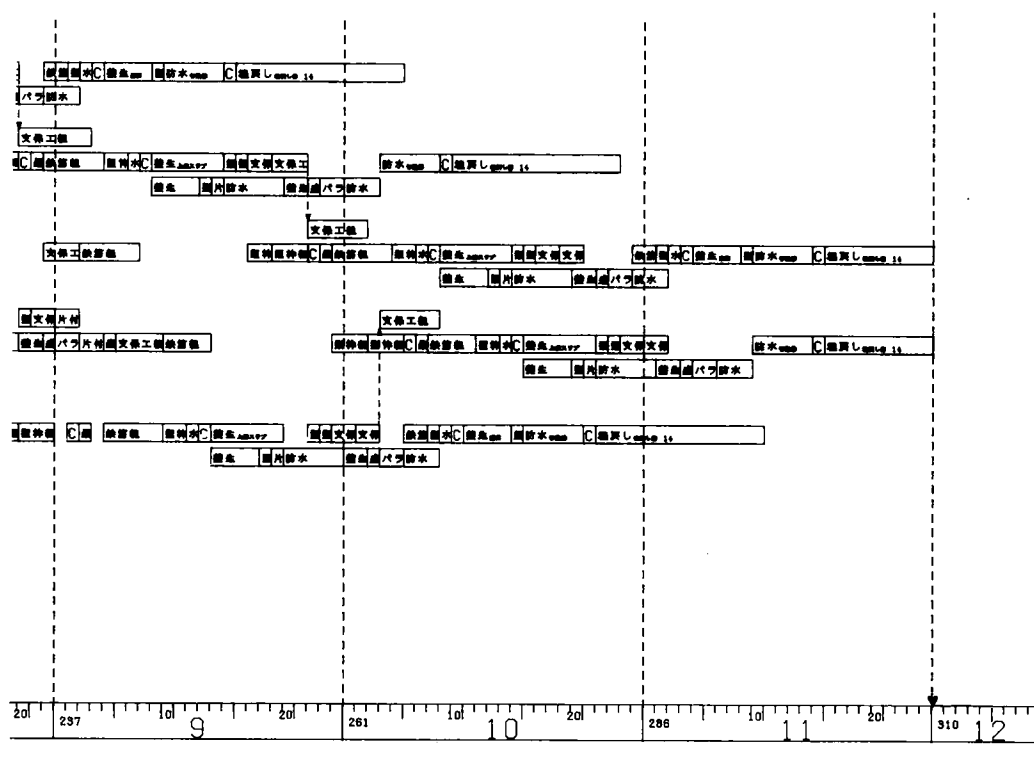
表一 5.5 はその結果をとりまとめて示したものである。これから次のことが明らかとなった。

- こうした検討の結果、実施工程計画として採択された工程表が図－5.13である。この図に示されるように、昭和56年11月末にはば納る工程となり、これに従って工事を進めることとなった。そして、相当に厳しいスケジュールではあったが、無事に工事を完了するところとなった。

① PERT 計算結果(数字は所要日数を示す)

型枠大工		作業歩掛の変更		
鉄筋工		現 状	1割アップ	2割アップ
作業歩掛の変更	現 状	327	317	312
	1 割アップ	323	313	308
	2 割アップ	322	312	307

型枠大工 鉄筋工		作業歩掛の変更		
		現 状	1割アップ	2割アップ
作業歩掛の変更	現 状	337	325	324
	1 割 アップ	335	319	313
	2 割 アップ	334	317	309*



図一5.13 更改後の実施工程計画（修正部分）



## 第4節 施工実績情報収集における工事日報の利用事例

### 1. 工事管理における施工実績情報の役割とその収集利用

さて、全体工程計画に対して前節で明らかにした方法を用いて各月の工程計画と使用資源（材料、機械、労務）の予定表を作成すると、工事現場の技術者は、担当の工事や工種の週間予定表を作成しそれにもとづいて作業員や使用材料の手配、さらには、予定作業の段取打合せ、作業安全の指示を行うなどして、それぞれの施工作業の実施に必要な準備を行うことになる。

工事施工は作業計画に示されている所定の作業手順と作業方法に従って行われるが、現場技術者はそれぞれの作業員や作業環境、機材、構造物に対する安全性の確認をしつつ所定の施工仕様および施工管理基準を満足するように工事を進めていかなければならない。

工事の実施結果に対しては、毎日の作業の進行状況を記録し、各作業が完了するごとにその形状や寸法を検測して施工仕様や施工管理基準を満足しているかどうかのチェックを行う。もし、所定の基準を満たさなければ手直しや修正を施すことになる。通常の場合、日々の作業内容は作業員の使用人数・就労時間とともに工事日報に記録され、それが工事の施工記録として保存される。また、工事施工に投入した各種材料や機械の使用状況については工事現場への搬入および搬出とともに伝票が発行され、それらを集計することによって実態を把握することができる。さらに、工事の完了した構造物部分についてはそれぞれの寸法や出来栄を測定して所定の品質水準に達していることを明らかにしなければならない。

図－5.14は、以上の計画・実施・管理の業務のフローをとりまとめて示したものである。このような手順を通して日々の施工結果を克明に記録して工事の実施状況を把握することになる。

一方、工事管理の観点からは、これらの施工実績情報は計画段階における施工計画情報と対比することにより、構造物の完成状況や工程の進捗状況や資源の投入状況の実態を明らかにして、工事の施工目標の達成状況を診断するための施工管理情報の作成に役立てられてこそ真に意味のあるものとなる。つまり、施工実績情報を収集してその分析と評価にもとづき工事の合目的な進行のために各施工段階において取るべき対策・措置へと結びつけることが肝要なことといえるのである。

このように位置づけされる施工実績情報は投入されたすべての工事用資源の使用実績を把握することによって得られるのであるが、一般には、以下に述べるような工事日報データ、出来形数量データ、伝票等の各種調票データとして収集されるのが普通である。

工事日報データは、日々の作業実績を職種別作業員や機械の投入数と作業時間および作業内容を中心として記録したもので、これにより各工種における作業員や機械の使用実績が明らかになり職種別・支払先別に集計されて各予算項目における支払資料として用いられる。作業内容の記録を工程計画の作業区分と対応できるようにするならば工程実績データとして利用することができる。計画と

の対比という点からは作業指示書に対する実績を記録したものであるといえる。

伝票データは、工事に投入した材料の納入や運搬に関するものと現場運営管理に要した役務に関するものとに大別されるが、請求先および予算項目別に集計して支払資料として用いられる。工事用資源の納入や運搬・保管に関する伝票をその作業内容と対比させて仕訳・集計することは、その発行目的からして一般には困難なようである。

出来形数量データは、完成した構造物部分の形状と寸法を測定してそれを施工

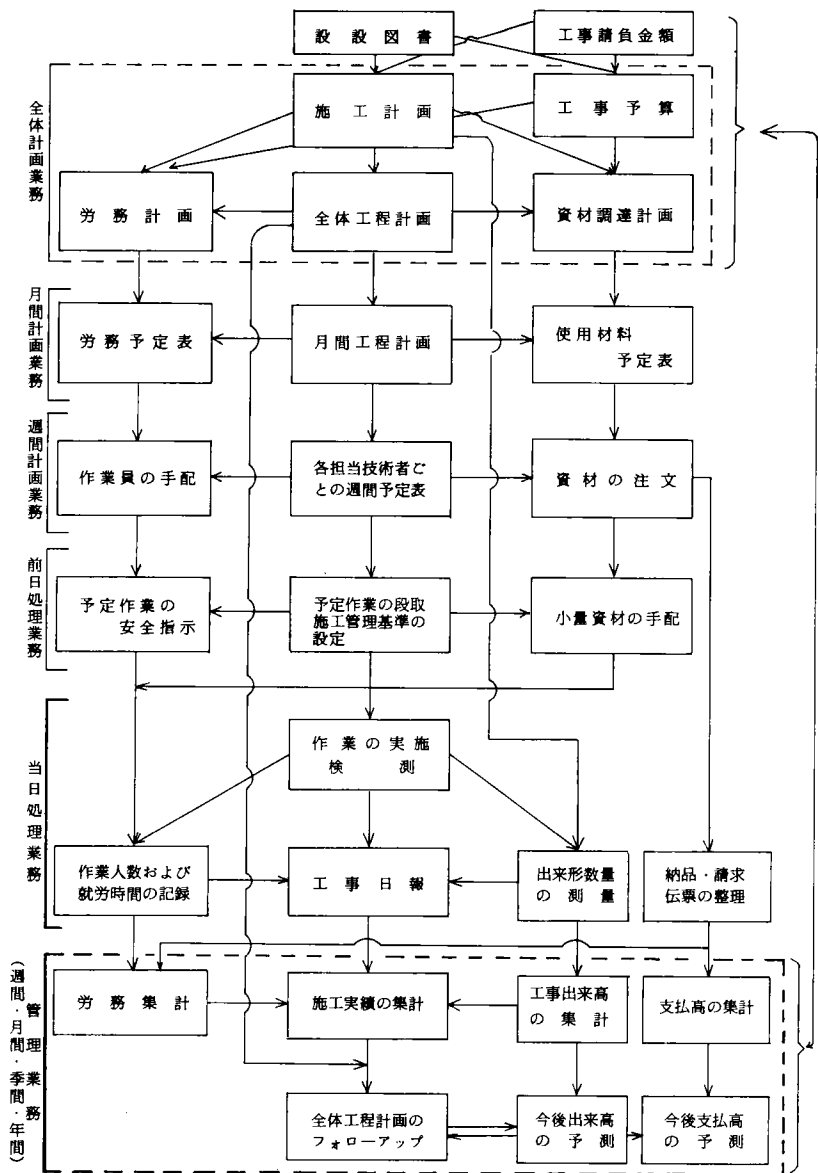


図-5.14 工事現場における管理業務と施工情報処理の関係

数量として示したものである。作業の内容によってはその完成状況を測定することが困難なものや測定できないものもあり、一般には構造物の形状と寸法の測定に留められている。工程計画データとの対比に関しては、各構造物の施工ブロックや部位のレベルにおける対比は十分に可能であるが、工種や作業のレベルでの対比については困難なものが少ない。

また、これらの各種実績データから求められるものとして作業歩掛データがある。作業歩掛は、当該作業における施工数量とその処理に要した延投入人数とから単位施工数量当りの必要投入人数もしくは作業員1人の1日処理数量として求められる、作業処理能力を表している。

以上の考察からわかるように、施工実績情報を与えるものとしては工事日報データや伝票データや出来形数量データなど種々の種類のものがあるが、工事の施工状況を把握するためのものとしては工事日報データがもっとも基礎的な情報を与えるものであるといえよう。

次項では、工事日報に記録されている作業データをコンピュータに入力して種々の施工実績データを作成し、工事管理資料として利用する方法を事例を通して考察することとする<sup>11)</sup>。

## 2. コンピュータによる工事日報データの処理方法

工事現場においては、通常、作業実施時に作業状況を野帳に記録し、作業終了後に当日行ったすべての作業の内容を工事日報もしくは工事日誌に記入するようにしている。工事日報の記入内容は、

- ① 年月日、曜日、天候、
- ② 請負・常備の区分（下請業者名）、工種、投入人数、作業時間、
- ③ 作業場所、作業内容、作業量、備考等。

などとなっている。その記入様式は工事種類や工事現場によって異なり、また、定形化がなされているとはいいがたい。工事日報の記入様式を大別すると、

- ① 工事日報の記入様式のみを定めておき、当日実施した作業の記入項目すべてを野帳より転記する。
- ② 工事日報には当該工事における工種名、職種名、機械名、作業名を事前に印刷しておいて、工事日報への記入時には該当する工種、職種、機械、作業の項目の箇所に当日実施した作業の投入人数や作業時刻のみを記入する。

というように、2つの様式に分けることができる。前者の様式は工事内容の構成が複雑で当初計画に対する変更が多く事前に作業名称を固定しておくことが得策でない工事で用いられる。市街地工事に多い様式であるといえる。後者の様式は工事内容が比較的単純で、作業種類も少く、事前に作業名称を決定しておいてもそれらの名称の変更や追加がそれほど多くない工事で用いられている。

工事日報用紙のデザインという観点からすれば、図—5.15に示すように、前者の様式のデザインは必要な項目の配列だけが問題となるが、後者の様式ではそれぞれの工事種類の工事内容を考慮してデザインするなどの工夫が必要である。しかしながら、工事日報データの作成という点に関しては、前者においては下請名、職種名、機械名、工種名、作業場所、作業内容等をどのように入力するかが大きい問題として残されるのに対して、後者では上記のそれぞれの名称をコード化してそれを工事日報用紙に印刷しておけばよい。

工事日報の用途は、これまでも述べてきたように、

- ① 施工実績の記録、
- ② 延労働時間数集計のための基礎資料、
- ③ 作業歩掛データ作成のための基礎資料、

姓名 李 强 性别 男 民族 汉 出生年月 1985.12.26 籍贯 湖北 身份证号 42010619851226001N 职业 学生 就读学校 武汉大学 备注 无不良嗜好

No.	品名	単位	数量			金額				備考	
			原	材	費	原	材	費	合		
5	PAター	L	3	5	38C	J	19.8	6.8	10.8	28.8	ハツシテモト
		L	2	5	38C	J					ニツクテモト
		OP	1	5	11B	J					7ツクテナオシ
		L	5	5	38C	J					ハバシPIP
		L	1	5	13	J					カシ
10		H	1	5	38C	J					
	ククク	HC5	1	5	11B	J				8	
	ククク	DT8	2	5	27E	J	28.8	3.8	6.8	8	28.8
	シヨクイ	HC15	1	5	38C	J	19.5	5.8	8.5	8.5	ハツシテモト
	シヨクイ	HC28	1	5	38C	J					ハバシPIP
	ククク	TR	1	5							

K O P E N システム  
工 事 日 報

2 昭和50年12月2日 (火) 曜日

01 切端土工 (土留付板取付) (土留・板留)		02 切端土工 (土留付板留) (土留留)		03 板留切工		04 鋼矢板岸壁		05 ドック部鋼筋工		07 鋼矢板岸壁	
D	8 01	クローラ190 (コンクリート)	01	クローラ (コンクリート)	01	クローラ (コンクリート)	01	クローラ (コンクリート)	01	クローラ (コンクリート)	01
D	8 02	杭 木	02	杭 木	02	杭 木	02	杭 木	02	杭 木	02
9 5 5 S	03	(ロープ)	03	杭 打	03	杭 打	03	杭 打	03	杭 打	03
ブル (21)	04	(アン)	04	重起取付	04	重起取付	04	重起取付	04	重起取付	04
MS (040)	05	(ワイヤ)	05	クローラ (ワイヤ)	05	クローラ (ワイヤ)	05	クローラ (ワイヤ)	05	クローラ (ワイヤ)	05
DT (11)	06	ウイ	06	岸壁取付	06	岸壁取付	06	岸壁取付	06	岸壁取付	06
DT (11)	07	DT (11)	07	クローラ (ワイヤ)	07	クローラ (ワイヤ)	07	クローラ (ワイヤ)	07	クローラ (ワイヤ)	07
バスター (0.7m)	08	土	08	重起取付	08	重起取付	08	重起取付	08	重起取付	08
土	09	土	09	クローラ (ワイヤ)	09	クローラ (ワイヤ)	09	クローラ (ワイヤ)	09	クローラ (ワイヤ)	09
土	10	土	10	杭 打	10	杭 打	10	杭 打	10	杭 打	10
D 115 A	12	土	12	クローラ (ワイヤ)	12	クローラ (ワイヤ)	12	クローラ (ワイヤ)	12	クローラ (ワイヤ)	12
バスター (0.5m)	13	土	13	DT (11)	13	DT (11)	13	DT (11)	13	DT (11)	13
	14			DT (11)	14	DT (11)	14	DT (11)	14	DT (11)	14

KOPENシステム 工事日報  
宮北野戸建設㈱.他-工事

11月 12日 13日 14日 15日 16日 17日 18日 19日 20日 21日 22日 23日 24日 25日 26日 27日 28日 29日 30日 31日

11月 12日 13日 14日 15日 16日 17日 18日 19日 20日 21日 22日 23日 24日 25日 26日 27日 28日 29日 30日 31日

昭和 57 年 8 月 4 日 (水) 曜日 天気 A

A 晴 B 雨 C 雪

工 種 専任 兼任 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77

KOPENシステム 工事日報  
宮北野戸建設㈱.他-工事

11月 12日 13日 14日 15日 16日 17日 18日 19日 20日 21日 22日 23日 24日 25日 26日 27日 28日 29日 30日 31日

11月 12日 13日 14日 15日 16日 17日 18日 19日 20日 21日 22日 23日 24日 25日 26日 27日 28日 29日 30日 31日

昭和 57 年 8 月 4 日 (水) 曜日 天気 A

A 晴 B 雨 C 雪

工 種 専任 兼任 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77

KOPENシステム 工事日報  
宮北野戸建設㈱.他-工事

11月 12日 13日 14日 15日 16日 17日 18日 19日 20日 21日 22日 23日 24日 25日 26日 27日 28日 29日 30日 31日

11月 12日 13日 14日 15日 16日 17日 18日 19日 20日 21日 22日 23日 24日 25日 26日 27日 28日 29日 30日 31日

昭和 57 年 8 月 4 日 (水) 曜日 天気 A

A 晴 B 雨 C 雪

工 種 専任 兼任 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77

図-5.15 コンピュータ処理のための工事日報データの記入用紙の事例  
(鴻池組技術社内報21, 23, 24)

- ④ 各月の労務費，機械経費算定のための基礎資料，
- ⑤ 各月の実績工程データ作成のための基礎資料。

などの利用が考えられるが，一般によく用いられているのは①，②，および④である。

本研究においては，③の作業歩掛データの作成，④の各月労務費，機械経費の算定および⑤の各月実績工程データの作成のために工事日報データを利用することとしてそのコンピュータ処理事例について述べることにする。

### 3. 地下鉄工事における工事日報データの処理と利用事例

#### 3.1 工事日報データのコード分類

地下鉄工事のような市街地工事では，一般に，工種や作業の種類が多くて工事内容が複雑であり，しかも，施工途中における設計変更や施工環境の変化のために当初に予期していなかった作業が出てくるとも少なくない。このような工事の場合，工事日報データを作成するにあたっての問題点は多種多様な作業項目の体系的な分類とデータの入力処理の簡易化である。

さて，作業項目の分類方法としては，一般に，つぎの2つの方法が考えられる。

- ① 工事全体をそれぞれが固有の意味を持ついくつかのレベルにトリー構造状に分解する。集計あるいは仕訳されたデータはどの階層レベルに属するかによって明確に意味づけされる。
- ② データの集計あるいは仕訳の目的にしたがって，工事全体をいくつかの大項目に分類し，それをさらに，中項目および小項目へ細分化していく。各項目レベル間での整合性よりも各項目の分類目的の方が明確に意味づけされる。

工事全体の作業項目をコード表示するにあたって，①の場合には工事内容の分類基準が一般化されたものでありデータの内容や精度は各レベルで均質化される。その反面，分類のレベルが多階層となり，その分類体系は大規模なものになる。一方，②の場合には，分類目的が明確であれば効果的な分類体系となるが，データの集計の目的やデータ収集の対象が異なるごとに分類体系を新しく設定しなければならない。ここでは，土木工事の現状と地下鉄工事の特徴を考慮して，②の立場に立って工事内容の分類を行うこととした。すなわち，表－5.6に示すように，地下鉄構造物の構築工事とその他の仮設工事とで分類の範囲を区別するとともに，工事全体としての統一性を保持するために工種の分類基準を合わせることにした。これは，構築工事では施工ユニットの設定に明確な基準が存在するのに対して，仮設工事では施工ユニットの設定の必要性はそれほど大きくなく，むしろ，作業や種別のレベルを細かく分類しておかなければ十分に作業内容を表すことができないからである。本体構築工事とその他の仮設工事との間のこのような関係は他の工事種類においても同様であると考えられ，両者の間で整合が取れるような体系的な分類基準を設定することが施工実績情報のコンピュータ処理に欠くことのできない要件であると思われる。

表－5.6(a) 地下鉄工事の工事内容の分類  
(構築工事)

ブロック	部	位	工 種	作 業	種 別
駅部 線路部					
1 11	基 礎	外 防 水	鉄筋工(加工)	加 工	パ ル
2 12	ベ ー ス	2 段 梁 下	(組立)	小運搬	ビティ
3 13	ベースハンチ	3 段 梁 下	型枠支保工組	墨出し	柱受台
4 14	ピ ッ ト	上床スラブ	撤去	足場組	アンカーボルト
5 15	ピットハンチ	上床カベスラブ	型枠工組立	圧 接	腹起し
6 16	プラットホーム	柱	撤去	組立Ⅰ	盛替梁
7 17	プラットホームハンチ	鋼 管 柱	コンクリート打設	組立Ⅱ	モルタル
8 18	中床カベ	階 段 部	養生	打設段取	塗 膜
9 19	内 防 水	排 水 部	鋼管柱据付	打 設	5段梁
10 20	外 防 水	中 埋 部	塗装	据 付	4 "
11 21	3 段 梁 下	5 段 梁 下	内盛替工取付	塗 装	3 "
12 22	中床スラブ	4 "	撤去	仕上げ	2 "
13 23	中床カベスラブ	3 "	外盛替工取付	裏ごめ	1 "
14 24	中 カ ベ	2段梁下中床	防水工 防水	チップング	ジョイント部
15 25	上 床 カ ベ	2 " 上床	養生	水洗い	
16 26	内 防 水	1 段 梁 下		足場撤去	
17 27				撤 去	
18 28				ケレン	
19 29				取 付	

表－5.6(b) 地下鉄工事の工事内容の分類  
(仮設工事)

工 種	作 業	種 別
杭打工 打設	杭 継 ぎ	H-300 ガス 800 低圧
撤去	杭 打 設	H-400 " 800 高圧
路面覆工 敷設	切 断	覆 工 桁 水道 500
撤去	撤 去	懸 吊 桁 " その他
土留工 矢板組	取 付 け	鋪 板 下水 1350
支保工 取付	敷 付 け	腹 起 し " 1500
撤去	矢板入れ	切 梁 関 電
掘 削 工	補 強	裏 込 め 電 々
埋 戻 工	組 立	t = 4.5m 南港指定地
埋設物防護工	本 掘 削	= 6.0m 自由処分
剩土搬出工	一 次 掘 削	= 7.5m
設備工 据付	地 盤 改 良	= 12.0m
撤去	排 水	トレンチ縦矢板
排水工 据付	填 充	道路横断部
撤去	溶 接	~G.L-2.5m
通路工 組立	布 設	G.L-2.5m ~敷付
撤去	撤 出	+ 1.5m 敷付
	仮 置	流 用 土 砂
	均 し	山 砂
	転 圧	コンクリート

### 3.2 工事日報データの入力シートとデータ作成

工事日報は各工事現場において毎日記入されているのであるが、各月の労務費および機械経費の算定のために工事日報データを利用することをコンピュータ処理の第一の目的とすることにした<sup>12)</sup>。そのために、工程データの作成よりも工事費用データの集計に都合のよいデータ分類を用いることにした。また、工事現場から電算センターへのデータ送付方法を考慮して半月単位ごとに取りまとめて入力することとして、図－5.16 に示すようなデータ入力用紙を用いることにした。この方法では、作業内容や下請業者名や職種機械名は別途に作成したコード分類表にしたがってコードで記入することにした。また、入力するデータとしてはこれらのほかに、各作業を実施した日に人数と作業開始時刻、終了時刻、勤務の昼夜区分、作業内容の請負常備区分を記入することになっている。

KOPEN システム 工事月報		工事名称	地下鉄 平野	22	昭和 52 年	7 月	(電算用)
作業内容	下請	職種機械	人数	10	11	12	13
80	K2F		6	18	8	7	8
1885F			6	18	7	8	17
1285F			6	17			12
8987F							12
			6	15	17	18	17
			6	15	17	18	17

図－5.16 地下鉄工事の日報データの入力用紙

### 3.3 出力データの構成と施工実績データの分析

半月を単位として入力される工事日報データは月ごとに集計されて出力データが作成される。出力されるデータとしては、毎月定期的に作成して各月の現場管理業務に供するものと必要に応じて随時に出力して各種管理業務に供するものと2種類がある。前者については、図－5.17 に示す出面（投入作業人数）一覧表と原価分析表とがある。出面一覧表は、下請別・職種別に作表して当月実施した

**出面一覧表**

工 種	日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	計
土木	70	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
電気	70	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
機械	70	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
その他	70	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
合計	70	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

図－5.17 投入人数実績表の出力事例

工種・作業ごとに勤務時間内と勤務時間外に分けて延投入人数を算出してその集計結果を表したものである。また、原価分析表は、工事別に作表して予算項目を中心として実績投入人数および労務費を算出したものである。

さて、後者の随時に出力するものとしては、工種別歩掛データや実績工程・実績山積み図など施工状況の実態を把握するために用いられるものがある。

工事日報データをコンピュータに入力して各種の施工実績データを求めることにしたが、適用事例としては第2章におけるのと同じ大阪市南部の地下鉄工事を取り上げた。当工事は地下鉄構造物が駅部と線路部とに区分されており、各施工ブロックは駅部についてはベース部、中床部、上床部に区分され、線路部についてはベース部と上床部に区分されている。主要な職種としては鉄筋工、型枠大工、コンクリート工を上げることができる。

図-5.18は、収集した工事日報データを用いて当工事の実績工程を作成したもので、これを図-2.23の計画工程と対比してみると両者の間には一見して差異の生じていることがわかる。この原因を探るために、やはり工事日報データから求めた実績値と計画値との差を各作業の所要日数に関して示したものが図-5.19である。この図をみると、鉄筋組み作業と型枠組み作業のいずれにおいても計画値との差に大きいバラツキのあることがわかる。しかも、作業所要日数の実績値と計画値との差の分布形状は各構造物部位によって異なっている。型枠外しについては所要日数の差のバラツキは比較的小さいが、それでも構造物部位によって分布形状が異なる。各工種に共通して全体的に言えることはベース部、中床部へ移るにつれて分布形状の幅が大きくなっていることである。

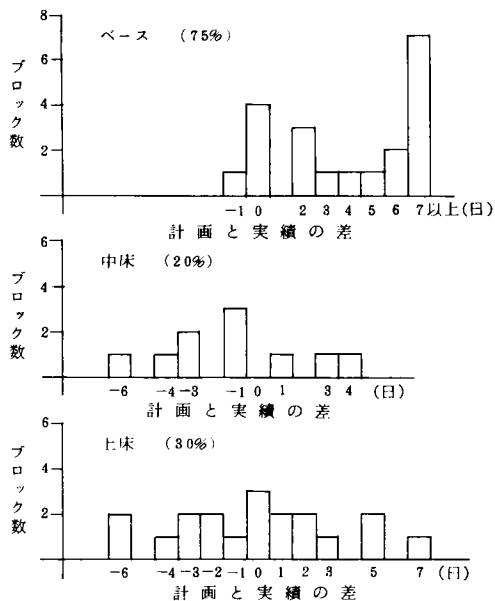
図-5.20は鉄筋工について実際の投入人数を求めたもので、8人以上の投入を行った作業の少いことがわかる。このことは当工事において鉄筋工の調達が工事管理上のキーポイントであったことを示している。そのような工事もしくは工種においては職種別作業員の投入人数を固定して作業所要日数の長さを変えることにより工程計画の修正や工事施工のコントロールを行っていく必要があろう。

図-5.21は、鉄筋組み、型枠組みの各作業の処理能力の推移状況、つまりそれぞれの作業の習熟状況を調べるために作成したものである。それぞれの横軸は各施工ブロックの施工順序の番号を示している。これを見ると、駅部については鉄筋組み、型枠組みのいずれにおいても作業の習熟効果のあることが認められ、しかも、ベース部、中床部、上床部へと移行するにつれて作業能力の向上していることがわかる。ところが、線路部についてはそうした作業の習熟効果や構造物部位の施工の進行につれての作業処理能力の向上も明瞭でない。駅部における上床部の型枠組み、線路部における内防水区間の底床部の型枠組みと鉄筋組みの処理能力が低くなっているのはそれぞれの作業内容の特殊性を反映したものである。

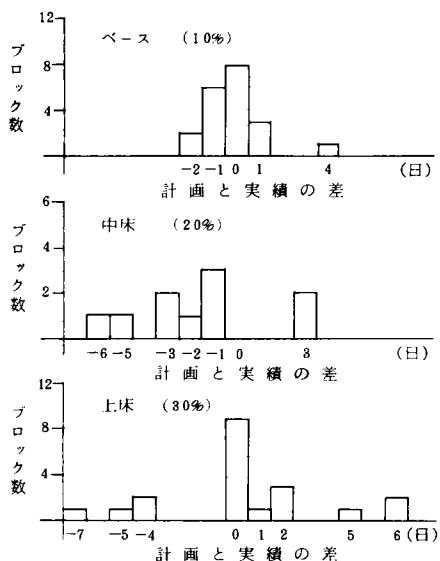




(1) 鉄筋組



(2) 型枠組



(3) 型枠外し

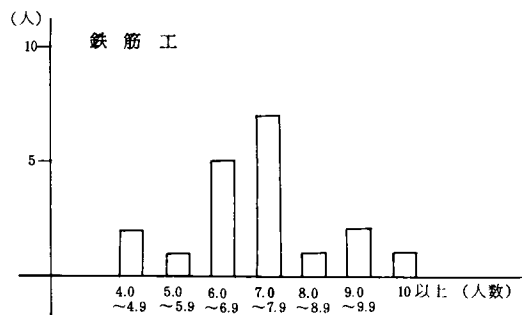
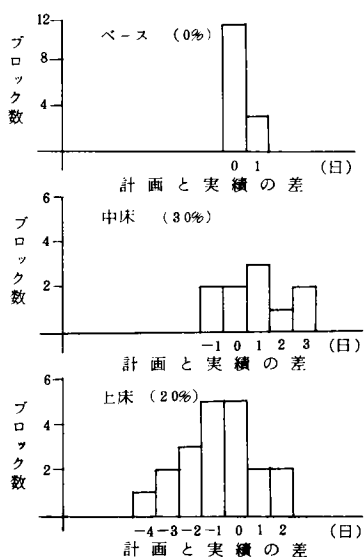


図-5.19 計画日数と実績日数との差の頻度グラフ

図-5.20 投入人数頻度グラフ

以上の考察から、工事日報データの収集にもとづいてそれから各レベル各要素の施工実績データを作成するとともに、計画値と対比して施工実績データの分析を行うことにより、工事の施工状況を種々の側面から把握することができその実態を明らかにするのに役立つことがわかるであろう。

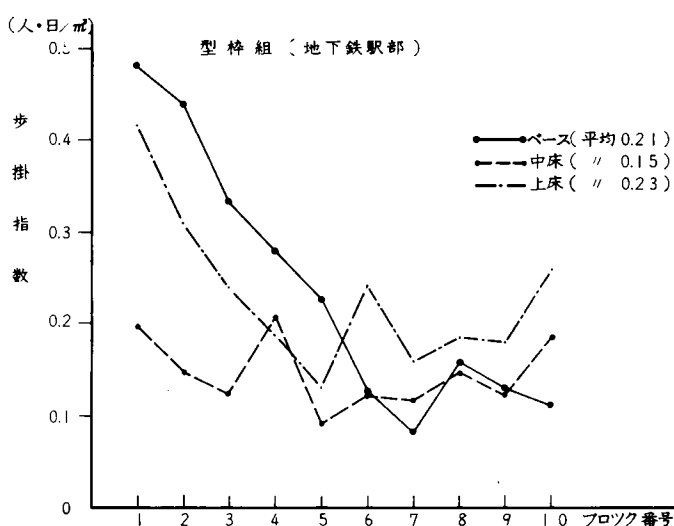
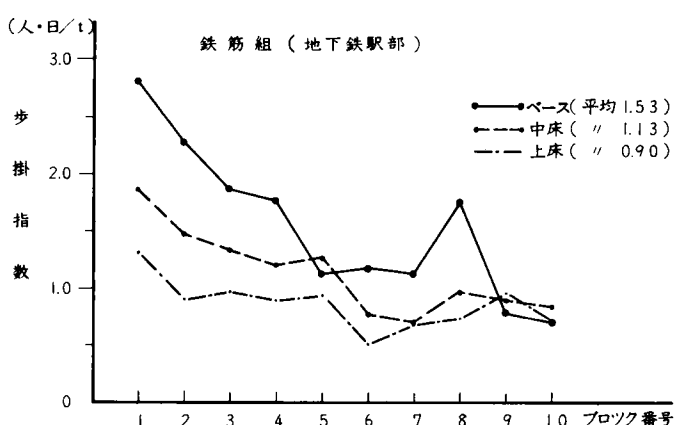
さて、現場で発生する工事日報

データを大型コンピュータで処理するにあたっての今後の課題としては、

- ① 施工実績データの測定精度の向上、
- ② 入力データの作成作業の改善、
- ③ 有効な管理資料の作成。

などをあげることができる。これらは、施工実績データの測定法、工事日報データの処理方法、工事管理や工程管理における利用目的の明確化<sup>13)</sup>など、工事管理のシス

テム化に関する課題である。これらについては、大型コンピュータと小型コンピュータを組合せた工事管理システムの開発事例として第6章において考察を行うこととする。



図一 5.21 作業処理能力の推移状況

## 第5節 マクロな進捗管理法への出来高曲線の利用事例<sup>14)</sup>

### 1. マクロな進捗管理の必要性

土木工事は、工事着工当初より自然条件・施工条件および現場周辺の環境条件の変化をとまなうのが常である。このために当初作成した施工計画のまま工事が実施されることはほとんどないと言って過言ではない。工程計画や施工計画の内容を工事の進行状況に合わせて逐次修正し、工事内容の変

化を事前に把握しうる態勢を整えておくことは工事管理上重要なことである。

土木工事における進捗管理は、工事全体の進捗状況の管理、工種ごとの施工速度の管理、月間・週間工程表に示されている日々の作業管理など、種々の管理レベルにわたっており、工事の施工時期によって工事内容が変化して施工管理上の重点も異なってくるなどの特徴がある。このために、進捗管理といっても単に計画工程と実績工程のずれを発見するのみならず、品質や安全の確保、工事用資源の調達や運用、これらを考慮した施工速度の算定ならびに工事原価への影響など、他の管理要素との関係にも注意しておかなければならない。

土木工事は工事期間と工事費用が事前に定められており、施工途中の各時点の施工状況を把握してそれらの最終的な達成状況を予測することは施工目標を望ましい水準で達成するうえで肝要なことといえる。

土木工事は種々の尺度で表わされる各種の工種で構成されており、工事全体の進捗状況を定量的に評価するためには各工種の施工状況を共通の評価尺度で変換表示する必要がある。各工種の施工状況は、通常の場合、それぞれの工種で施工した施工数量でもって表わされ、それに施工単価を乗じることによってその工種の出来高を算出することができる。したがって、工事出来高は現在時点までに消化した各工種の施工数量を金額表示してその累積値を求めたもので、工事全体の進捗状況に関する共通の評価尺度の1つであるといえよう。

各月における工事出来高の累積値の全工事出来高に対する百分率を縦軸に取り、横軸に工事の経過日数もしくは経過月数を取って、各月の工事出来高の累積値をプロットした曲線は、一般には、「出来高曲線」と呼ばれている。

縦軸には、工事出来高の累積値を取り、横軸には、工事所要日数に対する現在時点までの経過日数の比率（これをここでは工事進捗率と呼ぶことにする）を用いて、「出来高曲線」と同じ方法で作成される曲線のことを、本研究においては出来高曲線と称することにする。こうすることによって、工事所要日数に長短があっても定量的に比較することが困難であった「出来高曲線」の諸特性を統計的な方法を用いて分析することが可能となる。また、構造物の完成度を表す1つの指標としての工事出来高を工事日程と対比させて評価することによって、工事施工のマクロ的な進捗管理に役立てることができると考える。

## 2. 出来高曲線形状の分布特性

### 2.1 出来高曲線の分布形状の特徴

土木工事の中で、計画出来高曲線および工事管理特性値の抽出しやすい107件の工事について調査し出来高曲線を作図した。作図方法としては、完成工事報告書に記載されている出来高曲線について計画着工日・および実着工日を計画出来高曲線および実績出来高曲線のそれぞれの原点として、各折

点の座標を座標読取り装置で読み取り、プロッターで出力させる方法を用いた。この方法によると、出来高曲線に関する情報はすべてコンピューターにインプットされるので、出来高曲線の他に、

- 期間別出来高、
- 期間別請負金消費額（期間別工事出来高×請負金）、
- 施工速度（各月工事出来高）、

の各項も同時に計算することができる。

表－5.7 工事管理特性を表す項目一覧表

また、これらの出来高曲線の作成と同時に、完成工事報告書に記載されている事項の中から、表－5.7(a)に示す項目をインプットし

(a)	(b)
① 着工年月日（契約・実施）	⑥ 工期（契約・実施）
② 竣工年月日（契約・実施）	⑦ 工期増減率
③ 請負金（契約・最終）	⑧ 作業期間率（計画・実施）
④ 工事原価（実施予算・支払）	⑨ 請負金増減率
⑤ 益率（当初・精算）	⑩ 益率の変化

た。表－5.7(b)に示す項目は、(a)の項目を用いて以下のようにして作成した。

$$\bullet \text{ 工期増減率} = \frac{\text{実施工期} - \text{契約工期}}{\text{契約工期}} \times 100 \quad (5.1)$$

$$\bullet \text{ 作業期間率（計画・実施）} = \frac{\text{出来高算定期間（計画・実施）}}{\text{工期（計画・実施）}} \times 100 \quad (5.2)$$

$$\bullet \text{ 請負金増減率} = \frac{\text{最終請負金} - \text{契約請負金}}{\text{契約請負金}} \times 100 \quad (5.3)$$

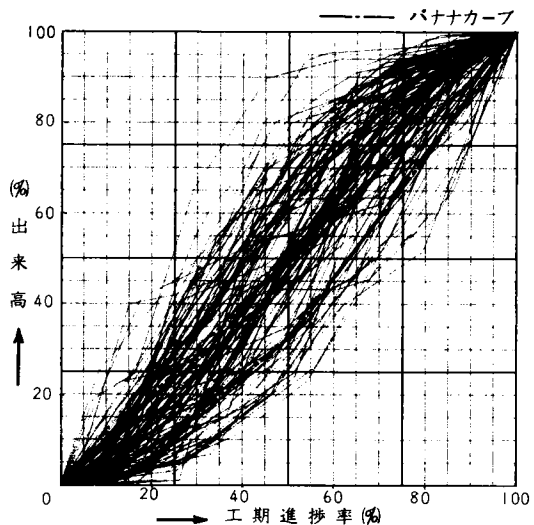
$$\bullet \text{ 益率の変化} = \text{精算益率} - \text{当初益率} \quad (5.4)$$

工期増減率、作業期間率、請負金増減率、益率の変化はいずれも工事着工時から工事竣工時までの間の工期や工費の変化状況を示す指標である。

この中で工期増減率と請負金増減率はいずれも工事請負契約によって定まるものであるが、作業期間率ならびに益率の変化は工事の推移にともなう施工者の施工努力を表わす指標であると考えられる。

これらの17の指標は各種の工事管理指標の中でもとくに工事期間と工事費用に関係している指標である。これらの諸指標と出来高曲線の形状との関連性を分析することによって、出来高曲線における工事期間および工事費用に関する特性を明らかにすることができる。

まず図－5.22は、出来高曲線の分布傾向



図－5.22 出来高曲線の分布形状

を見るために、過去に実施した 107 工事の実績出来高曲線をまとめてプロットしたものである。この図では、工程上特異な形状を示した工事も除外しないでプロットしているので、このように非常に大きいバラツキを示している。すなわち、季節条件や気象条件の影響を受けやすい工事、設計変更や、労務者不足による進捗低下を来した工事、工事着工遅れによる突貫状態にあった工事を含んでいる。また、この図では 13 の工事種類を含んでいる。図中の点線は米国 C・D・H のバナナカーブであり、これと比較した各工事種類の特徴をみるとつぎのようである。

すなわち、河川・港湾・海岸の各工事は出来高曲線の分布形状のバラツキが大きく、バナナカーブの管理限界を外れるものが多い。これらの工事種類については季節条件等による工程の分断という事態にも適用可能な進捗の管理法が必要であろう。また、地下鉄工事は長期の工事であるが、工事件数が少ない割に管理限界を外れるものがある。道路・鉄道・土地造成・上下水道の各工事はバラツいた分布形状を示しているが、比較的安定しているようである。

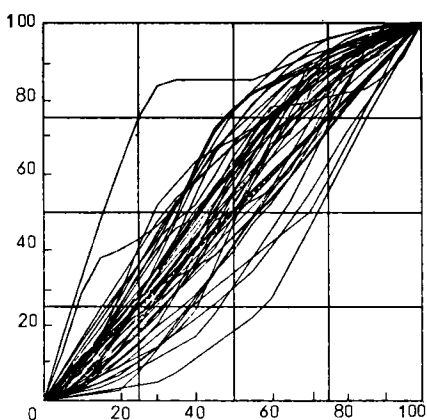
図一 5.23 は、それらの中から、道路工事のものの

みを抽出したもので、47 件の工事について、計画出来高曲線と実績出来高曲線をプロットしたものである。これをみると、2, 3 の工事を除いては比較的安定した形状を示していることがわかる。また、工程上特異な形状を示す工事であっても、その原因となった現場施工条件が工程計画作成時点で明らかになっている場合には、実績値は計画の出来高曲線と同様の形状を示し、工期の遅れや益率の低下などのマイナス要因に結びつくとは限らない。

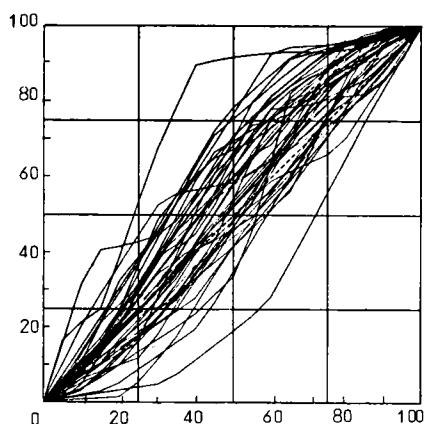
図一 5.24(1)～(3)は、表一 2.1 の各種工事管理特性の中から選んだ「工期」、「益率」、「益率の変化」の 3 つの指標値の変化による実績出来高曲線の分布形状の変化を図示したものである。「工期」は後述するように「請負金」との相関が高く、工事規模を表わす指標の 1 つである。「益率」は施工者にとって重要な管理指標であり、「益率の変化」は施工者の管理努力を表わす指標と考えられる。出来高曲線はやはり道路工事のものである。

工期については、工期が長くなるにしたがって出来高曲線の分布形状のバラツキは小さくなってお

縦軸：出来高(%) 横軸：工期進捗率(%)

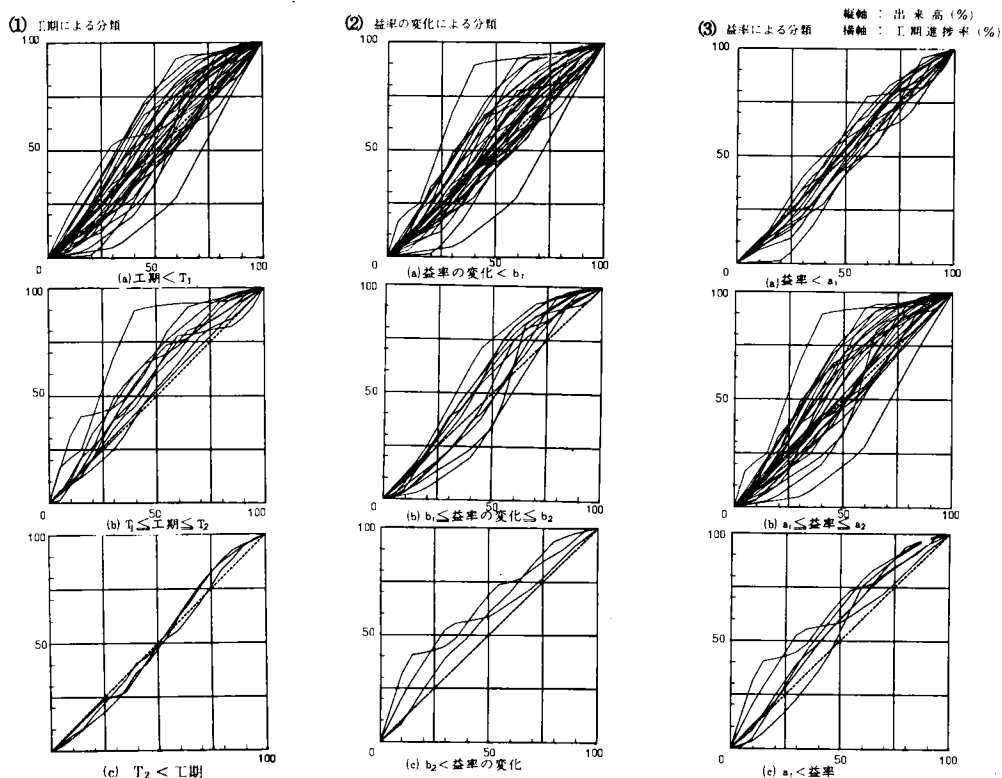


(a) 計画出来高曲線



(b) 実績出来高曲線

図一 5.23 出来高曲線の分布(道路工事)



図－5.24 出来高曲線の分布形状の推移

り、対角線上に集まってくる様子がよく現われている。とくに、Cの360日以上工期のものについては、ほぼ対角線上に乗っている。これは、大規模工事では工期が長く施工計画も綿密に立てられており、施工速度すなわち1カ月当りの出来高が平均化されてくるためであろう。これに対して、中小規模の工事では、施工計画の綿密性はそれほど要求されず、工事ごとの施工条件がそのまま工程に影響を与えて1カ月当りの出来高の変動が大きくなる。このために、出来高曲線の変域も大きくなるものと考えられる。

次に、益率については、中クラスの益率の工事件数がもっとも多く、バラツキも非常に大きい。益率の小さい工事は対角線を中心とした分布形状を示し、益率の大きい工事は件数は少なく、対角線の上側に分布している。益率による分類では出来高曲線の分布に明確な傾向は現われていない。

益率の変化で分類したものをみると、益率の変化の小さい工事の件数はもっとも多く、またバラツキも大きい。中程度のクラスのものS字形の分布形状を示すものが多く、益率の変化のもっとも大きいクラスは工事件数は少ないが、対角線の上側に分布している。益率の変化によって分類すると、その値が大きくなるにつれてバラツキが小さくなり、分布形状にも1つの傾向が認められる。

### 2.3 出来高曲線の管理限界の考察

これまでは、工程上特異な形状を示すものも含めて考察したが、これを除去するために次のような条件を設定した。すなわち、

- a 設計変更・追加工事・天候の悪化などによる出来高停滞期間が全工期の10%以下であること、
- b 本工事であること、
- c 精算益率が非負であること、
- d 工期増減率が標準偏差の3倍以下であること、
- e 請負金増減率が標準偏差の3倍以下であること。

これらの諸条件を満足する工事を抽出して、それらに対して工程管理曲線を作成して、その形状を比較検討することにした。

バナナカーブの作成方法は、代表的な45件の道路工事について時間的経過と出来高の関係をそれぞれ百分率表示で示したものに対して、10%分割の各時間経過百分率について出来高の変域を調べ、極端に速い上10%部分と極端に遅い下10%部分を除いた80%の部分が含まれるように上下の管理限界を定めたもので、バナナの形をしているのでバナナカーブと呼ばれている。

図-5.25は、このような特異な出来高曲線を取除いてバナナカーブ作成方法を適用して作成した工程管理曲線、米国C.D.Hのバナナカーブ、および出来高曲線の分布形状が3次曲線を中心とする正規分布を示すものとしてその80%の分布域として求めた曲線を比較したものである。これをみると、3次曲線を中心とする80%の分布域とバナナカーブ作成法にもとづいて作成した分布域とはほぼ一致するが、いずれの分布域も従来のバナナカーブより上限で10%程度、下限で3~7%それぞれ高くなっていることが分る。

図-5.26は益率による分布域の推移を示したもので、益率が小さいと対角線を中心とする狭い分布域を示す。益率が大きくなると、上限が引上げられ、とくに工期進捗率の後半が著しい。さらに益率を大きくすると、下限は全般に上昇し、上限も前半部分が引上げられるという傾向のあることがわかる。

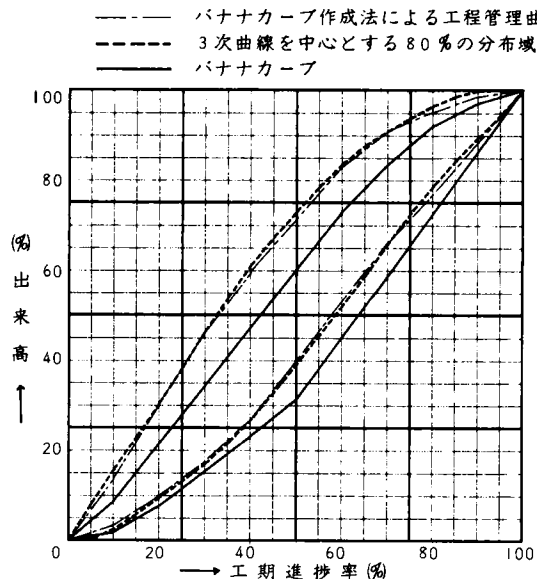


図-5.25 工程管理曲線とバナナカーブの比較



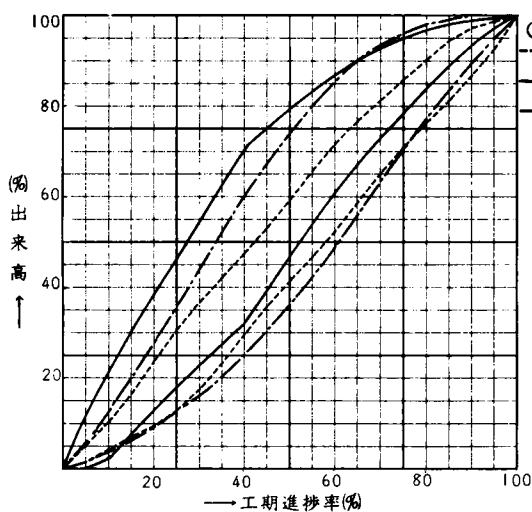


図-5.26 益率による工程管理曲線の分布域の推移

図-5.27 をみると、益率の変化がプラス側に大きい工事では工期進捗率 60 %以降の出来高が大きくなっている。

このように、益率や益率の変化は工程管理曲線の分布域に影響を与えることが分る。

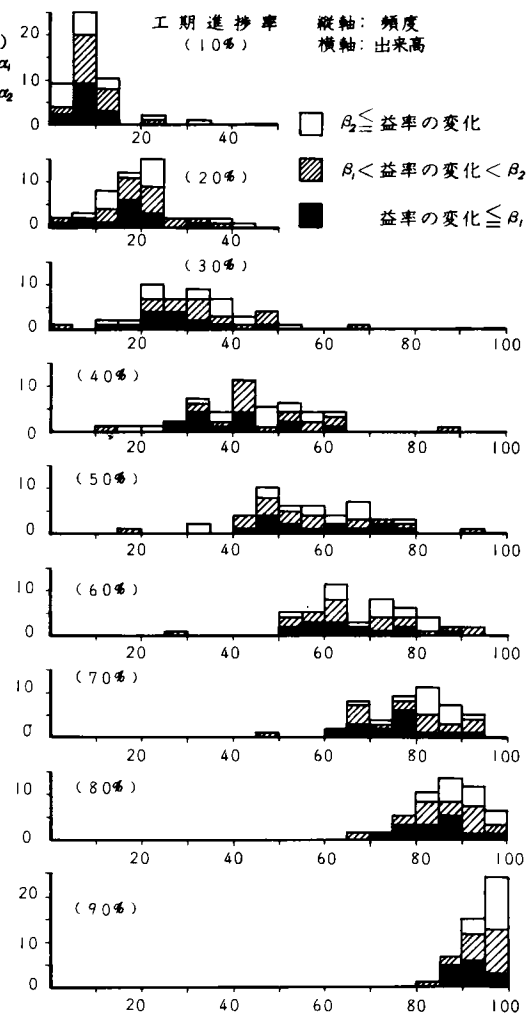


図-5.27 10%分割時点ごとの出来高曲線の分布

### 3. 統計的方法による出来高曲線形状のパターン分類

#### 3.1 出来高曲線形状のパターン

普通、出来高曲線はS字形を示すとよくいわれる。しかし、これまでも示してきたように、実にさまざまな形状のものがあ、単にS字形を示すとはいえないようである。<sup>15)</sup>

本研究では、座標表示された出来高曲線に対して、平均施工速度を表す、(工期, 出来高) = (0, 0), および(100, 100)を結ぶ対角線を基準として、これに対する出来高曲線の相対的位置関係および最大施工速度の位置から、次のように分類してみた。すなわち、図-5.28に示すように、①高型、②高S型、③整S型、④低S型、⑤低型、と呼ばれる5つの分類である。ここで、②、③、④、の分類は出来高曲線と対角線との交点の位置が30%以下、30~70%、70%以上、としたものであ

る。また、対角線と1個以上交わる階段状の出来高曲線は全体のうちの64%(3件)と少なかったので、曲線形状から判断して、上記の5分類のうちのいずれかに配分した。

この基準にしたがって、47件の道路工事について、計画出来高曲線と実績出来高曲線をそれぞれ分類し、両者を対比させて示したものが表-5.8である。

これをみると、以下のような特徴のあることがわかる。すなわち、

- 計画と実績の出来高曲線が同型のものは全体の約70%である。
- 実績が高型のものは計画もすべて高型であるが、他のパターンは必ずしも同型のパターンになるとは限らない。
- 精算益率からみると、(高型→高型)、(高型→高S型)、(高S型→高S型)、(整S型→高S型)となっているものはかなり高い益率を示している。また益率の変化も大きい。
- 計画も実績も整S型の工事は益率のバラツキが非常に大きく、益率の変化も同様である。工事内容に支配される要素が多いと思われる。

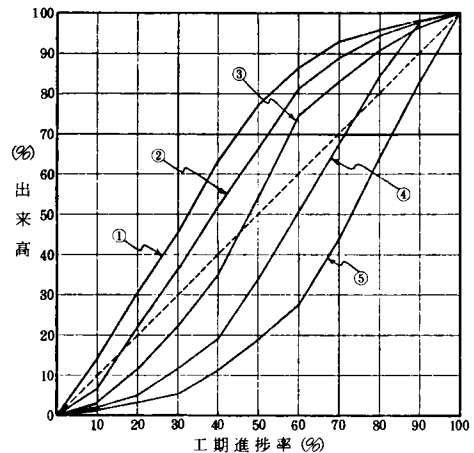


図-5.28 出来高曲線のパターン分類

表-5.8 計画出来高曲線と実績出来高曲線の対比

計画 実績	① 高 型	② 高 S 型	③ 整 S 型	④ 低 S 型	⑤ 低 型	計
① 高 型	9					9
② 高 S 型	1	6	3	1		11
③ 整 S 型	1	2	9	1	1	14
④ 低 S 型		2		6	1	9
⑤ 低 型	1	1			2	4
計	12	11	12	8	4	47

○印の番号は図5.28の番号を示す

### 3.2 判別関数および数量化理論Ⅲ類による各パターンの特性分析

図-5.28に示した出来高曲線の5つのパターンについて、請負金・工期・益率に関する特徴を述べると、以下のようなものである。すなわち、請負金・工期ともに大きいのは「低S型」であり、「整S型」がそれに次いでいる。工期増減率は階段状の出来高曲線が大きい。しかし、益率に関しては、精算益率・予定益率ともに「高型」、「高S型」が高く、また、益率の変化の高いのも両タイプのものである。精算益率、益率の変化の平均値のもっとも小さいものは「整S型」であって、このパターンでは各々の標準偏差はもっとも大きく、出来高曲線の形状はよく似ていても工事管理特性値には大きい差異のあることが分る。

工事管理特性による出来高曲線のパターン分類に対して多変量解析法を適用した例を次に示す。工事管理特性としては、実施工期・工期増減率・精算請負金・請負金増減率・予定益率・益率の変化の7つの指標を用いた。

表-5.9 各パターンの判別関数による  
評価および諸指標の比較

表5.9は、判別関数によるパターン分類<sup>16)</sup>の結果と図-5.28に示した出来高曲線の形状によるパターン分類とを対比して示したものである。この場合には、階段型の出来高曲線は別個に取り出している。これをみると、「高型」、「高S型」はよく似た特徴を有するが、「高S型」の方が判別しにくいようである。「整S型」は、3つのパターンに分れており、上記の工事管理特性のみでは十分に

パターン 判別関数	① 高 型	② 高 S 型	③ 整 S 型	④ 低 S 型	⑤ 低 型	⑥ 階段型	計
1 群	3	4	4			2	13
2 群		3					3
3 群		1	10	2	1		14
4 群		1		2			3
5 群	2	2	7		3		14
6 群	1	1	1			4	7
計	6	12	22	4	4	6	54
請 負 金	0.58	0.76	1.04	2.36	0.51	0.86	
工 期	0.92	1.04	1.00	1.17	0.76	1.08	
利益指標①	1.54	1.28	0.64	0.82	0.79	0.77	
〃 ②	2.19	1.73	0.08	0.85	0.39	0.04	

※ 請負金、工期、利益指標①、②はサンプル全体を1としたものである。

判別することができない。しかし、全体の傾向としては「高型」・「高S型」のグループ、「高S型」・「低」のグループは工事管理特性との対応において、パターンの判別が可能であると考えられる。

次に出来高曲線のパターンの判別に数量化理論Ⅲ類を用いた例を示す。アイテムは契約工期・契約請負金を除き、計画・実施の出来高曲線のパターンを含めた11項目であり、カテゴリ数は59である。解析結果をX1・X2の2軸に対してプロットしてみると、X1

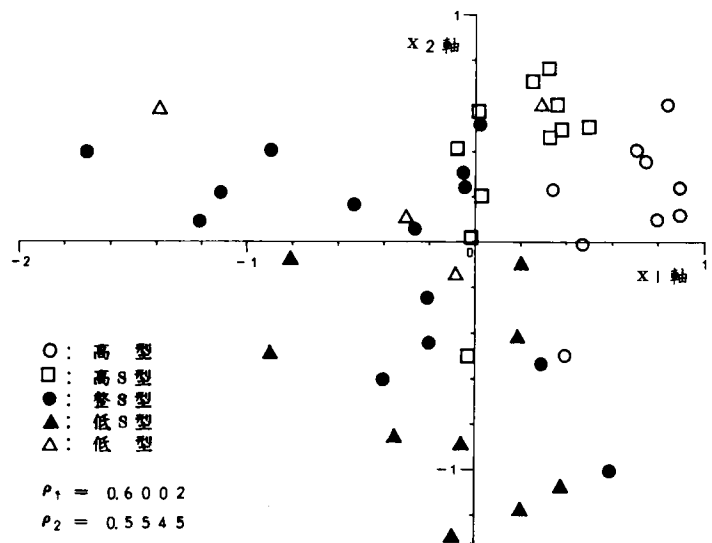


図-5.29 数量化理論Ⅲ類による各パターンのサンプルスコア

れ、実績出来高曲線のパターンもこれと対応した関係を示すようである。

図-5.29は、カテゴリスコアから算出したサンプルスコアをパターン別にX1-X2平面にプロ

ットしたものである。

以上の種々の分析から、出来高曲線のパターンの特徴をまとめると次のようである。

① 高型：計画がこのタイプの場合、実績も高型となりやすい。益率および益率の変化はもっとも大きく、バラツキも小さい。② 高S型：益率に関する指標の値は高型に次いで大きく、バラツキも小さい。高型・高S型は他のパターンとの区別が明らかなである。③ 整S型：計画が整S型の場合、実績も整S型になりやすいが、高S型となるケースもある。工事内容・規模によって益率に関する指標の値のバラツキが非常に大きい。④ 低S型：益率に関する指標は高型・高S型に次いで大きく、バラツキは比較的小さい。階段型の特徴は低S型に近い。⑤ 低型：益率に関する指標に目立った特徴はないが、整S型に似ているようである。工事規模としては、小規模工事に見られるパターンであるといえよう。

## 4. 出来高曲線の関数表示<sup>17)</sup>

### 4.1 理論的傾向線

出来高曲線は、工事全体の工期と出来高を各々100として、これらの2軸座標に表わされる1つの傾向線である。この傾向線がある関数で表わすことにより、今後の工事出来高の予測と最大施工速度に関する情報が得られ、工事全体の施工進捗を把握するのに都合がよい。つまり、施工実績をもとに現在の進捗状況を把握し、今後の工事進捗状況を予測して工程上のネックの抽出と、今後の対策を明らかにするという、工事の進捗管理に役立てることができる。

ある変量の一般的なすう勢を理論的に定式化して表わした曲線は理論的傾向線といわれるが、この代表的な例としては、人口・経済成長・耐久消費財の需要などの長期的な成長過程を表わすのに使われるロジスティック曲線やゴンペルツ曲線がある。ロジスティック曲線は、マルサスの人口論を理論的背景として定式化されたものであり、また、ゴンペルツ曲線は、ロジスティック曲線とよく似ているが、非対称な成長曲線で、老化作用を考慮した人体の成長過程を示すのに用いられる。

これらの曲線はS字曲線となるので、出来高曲線のパターンからいえば高S型・整S型・低S型にあてはめることができる。しかし、高型や低型などの曲線中に変曲点がなくKの根拠ある値の設定が困難なパターンに対してはこれらの理論的傾向線をあてはめることはできない点に問題がある。

### 4.2 3次多項式による出来高曲線の当てはめ

#### (1) 各パターンごとの当てはめ

出来高曲線の関数表示にあたっては次の点を考慮しなければならない。すなわち①計画と実績の出来高曲線とは必ずしも同じパターンとはなっていないこと、②各パターンの出来高曲線はS字型、上に凸の低型、のように種々の形状よりなっているが、これらのいずれに対しても同じ関数があては

められること、③施工途中の各時点において、工事完了時点までの出来高曲線を精度よく予測できること、などである。

こうした出来高曲線の関数表示に要求される諸条件を種々検討した結果、ここでは、次式に示す3次多項式を出来高曲線にあてはめることにした。

$$Y = a_0 + a_1X + a_2X^2 + a_3X^3 \quad (5.5)$$

出来高曲線に3次多項式をあてはめようとする、出来高曲線上に4つの既知点を必要とする。計画出来高曲線は、その作成方法から(0, 0), (100, 100)の2点を通ることは明らかであり、他の2点は工期を3分する適当な点を選定することとする。図-5.30は道路工事における計画出来高曲線の中から、「高型」、「高S型」、「整S型」、「低S型」、「低型」の各パターンの代表的なものに対して、3次多項式の関数形をあてはめたものである。太線が実際の出来高曲線であり、細線があてはめた3次曲線である。いずれのパターンも3次多項式によってよく近似されることがわかるであろう。

## (2) 施工時における3次多項式の

当てはめ

さて工事が開始されて実際の施

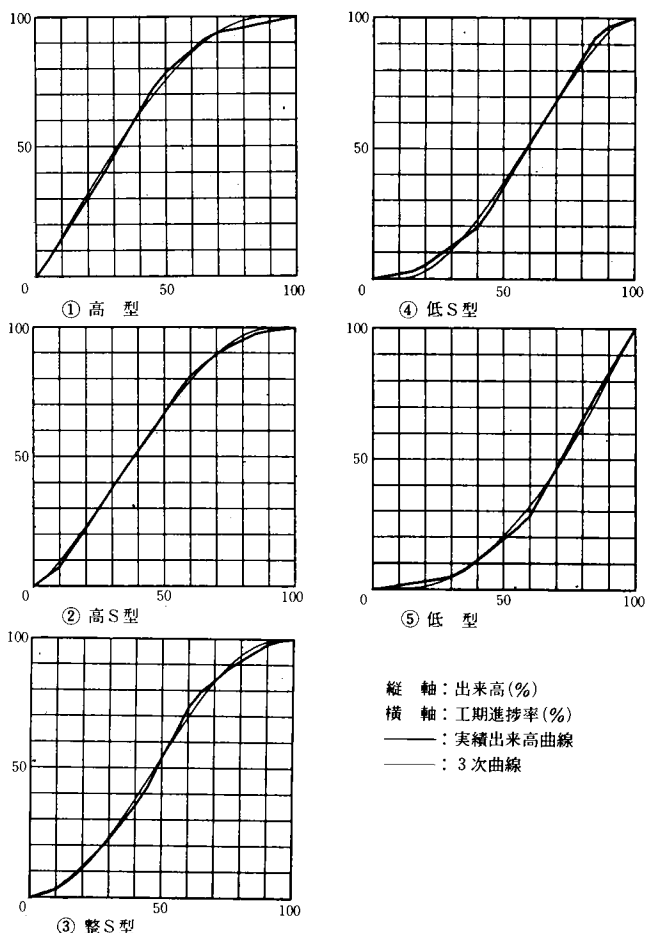


図-5.30 3次多項式による出来高曲線の当てはめ

工条件が明らかになると、その内容は当初想定したものと異なっている場合が少なくない。このため、実際の工程も当初の工程計画を修正しつつ進められ、実績の出来高曲線は計画作成時の出来高曲線に対してズレを生じるようになる。こうしたケースにおいては実績の出来高曲線にもとづいて今後の出来高曲線の推移を予測することが必要である。本研究では、次のようにして、施工途中における出来高曲線の予測を行うことにした。すなわち、図-5.31に示すように、実績出来高曲線は原点(0, 0)、現在時点の位置( $X_1$ ,  $Y_1$ )、工事完了時点の位置( $X_2$ ,  $Y_2$ )および過去の通過点

$(X_3, Y_3)$  を通ることは明らかであるから  
上と同様の方法で今後の出来高曲線を推定する  
ことができる。この中で、 $(X_2, Y_2)$  の点は  
工事完了時点を表わし、施工計画作成当初は、  
 $(X_2, Y_2) = (100, 100)$  である。設計変  
更等によって工事内容が修正をされると工事全  
体の施工量や工期は契約時点におけるものと異  
なってくる。この場合の  $(X_2, Y_2)$  としては、  
当初の計画内容を  $(100, 100)$  として算出し  
た変更された工事内容に対する値を用いればよ  
い。

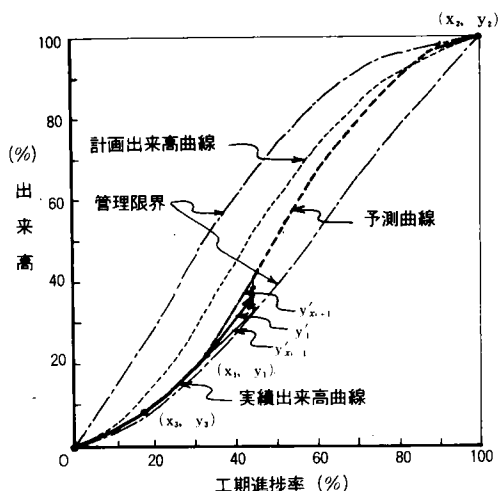


図-5.31 出来高曲線の予測モデル図

図-5.28の各パターンの出来高曲線に対して、工期の20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 80%まで工事が消化されたものとして、上記の方法で出来高曲線の予測を行なった。図-5.32はその中の50%時点のものを示したものである。すなわち、「高型」では予測時点にかかわらずよく適合している。「高S型」では20%, 30%時点での予測は困難であるが、50%以降ではよく適合している。「整S型」では予測時点が50%以前の場合誤差があるが、全般的に適合しているといえる。

「低S型」では「高S型」と同様の傾向が認められるが、「高S型」より適合性が悪い。「低型」ではやはり「高S型」と同様の傾向であり、20%, 30%時点では「高S型」より適合性がよい。これらの考察からわかるように、予測時点までの工事出来高の実績値と工事完了時点における工事出来高から

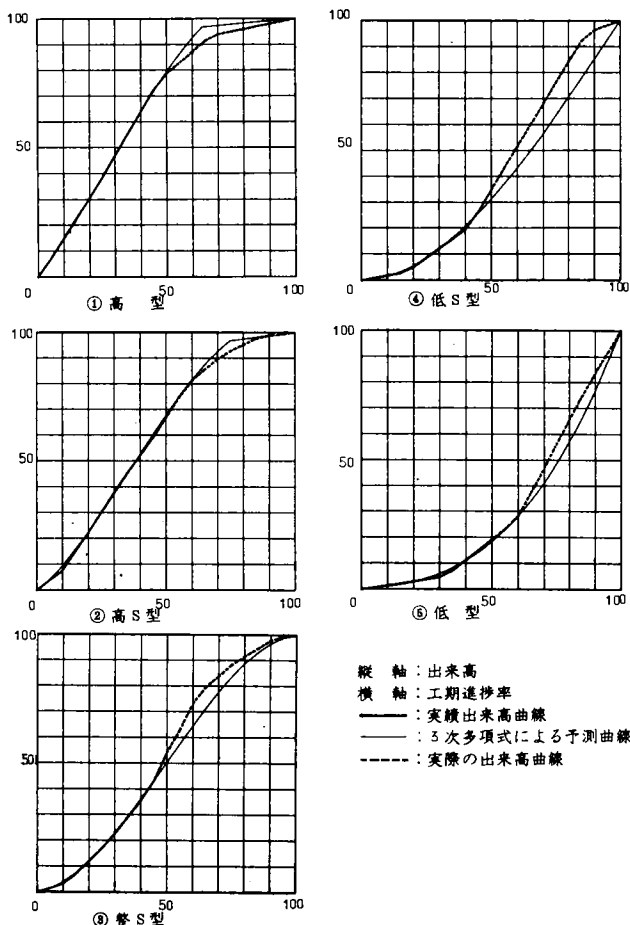


図-5.32 3次多項式による出来高曲線の予測(50%時点)

今後の出来高曲線を機械的に推察する方法では、出来高曲線のパターンと予測時点によって予測の精度にムラが生じてしまう。

### (3) 予測時点の施工速度を考慮した3次多項式のあてはめ

工事内容の変更や手戻りがあると、これまでの施工実績に加えて、今後の工事内容の難易、施工量の規模、下請業者の施工能力、工事現場の施工管理体制、さらには工期内の工事完了という管理目標等を検討して、施工工程が修正される。実際の工事を観察すると、工事途中の各時点の施工速度はこのようにして逐次修正されることがわかる。ここでは、実際の工事におけるこのような工程の修正を施工速度の変化として捉え、施工速度に関する情報を3次多項式の中に組み込むことによって、予測すべき出来高曲線を進度管理の側面から、図-5.31に示す方法を用いて制御することとした。

すなわち、予測すべき出来高曲線は、現時点( $X_1, Y_1$ )と工事完了時点( $X_2, Y_2$ )を結ぶ曲線であるから、これを3次多項式で表わすものとする、任意の時点 $X$ における施工速度は式(5.5)を $X$ について微分することによって、

$$Y' = a_1 + 2a_2X + 3a_3X^2 \quad (5.6)$$

で与えられる。この $Y'$ に実際の工事の施工速度に関する情報を以下のようにして与えることにする。現時点 $X_1$ の前後の一定期間(通常1ヶ月程度)の平均施工速度を各々、 $\Delta Y_{t-1}/\Delta x$ 、 $\Delta Y_{t+1}/\Delta x$ とすると、 $Y'$ はこれらを平均したものとして次式で求めることにする。

$$Y'_1 = (\Delta Y_{t-1}/\Delta x + \Delta Y_{t+1}/\Delta x) / 2 \quad (5.7)$$

この式において、 $\Delta Y_{t-1}$ は実測値より求められ、 $\Delta Y_{t+1}$ は今後1ヶ月間の工事日程から予定出来高を算出することができるから、 $Y'_1$ も工事の実態に即した数値として求めることができる。

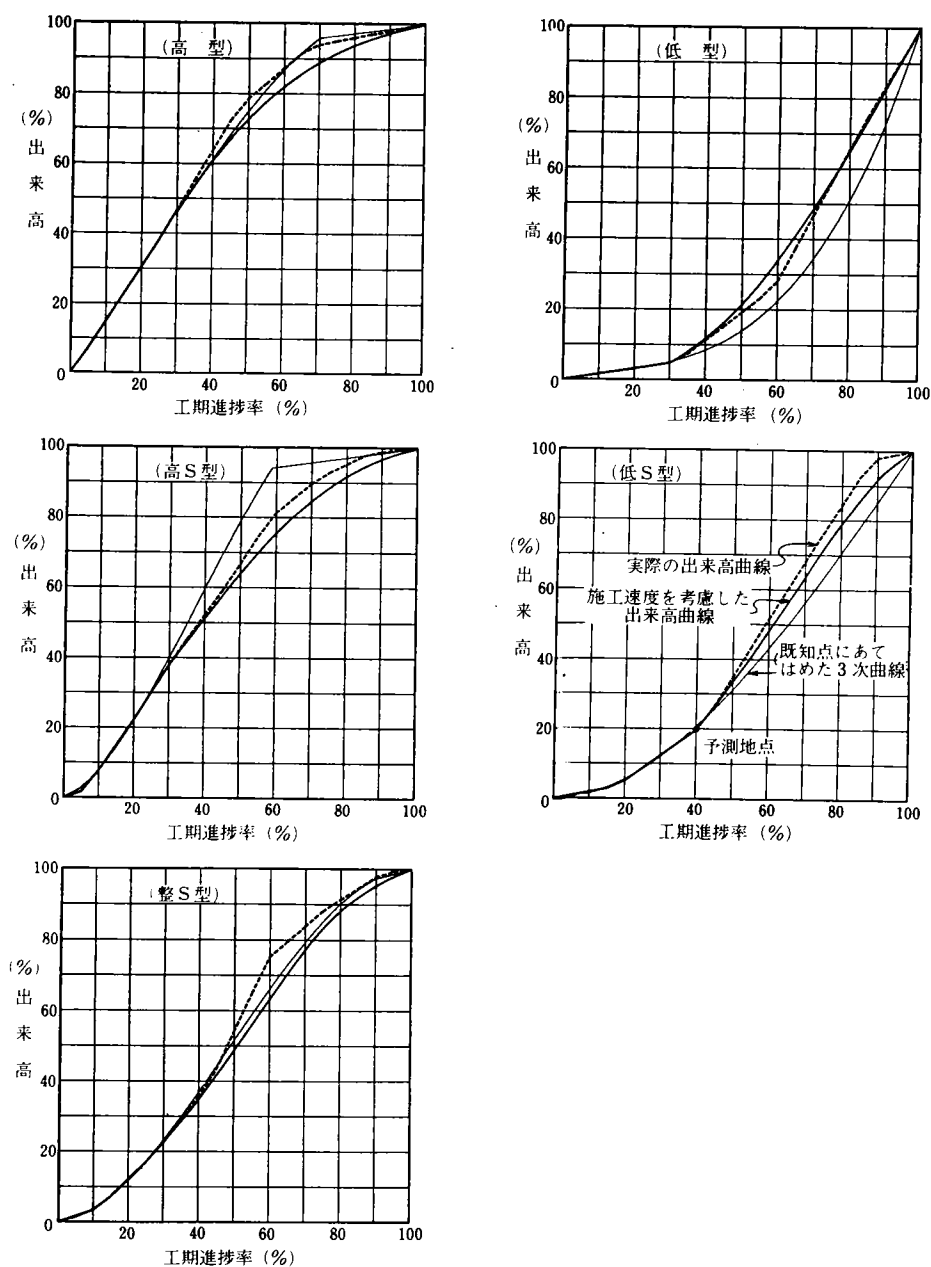
残りの1つについては、現時点以前の実績出来高曲線上の点で、( $X_1, Y_1$ )を通る3次曲線上の点で( $X_1, Y_1$ )からできるだけ遠い点( $X_3, Y_3$ )を選び

$$Y_3 = a_0 + a_1X_3 + a_2X_3^2 + a_3X_3^3 \quad (5.8)$$

とするのである。あるいは、工事終期における後片付け工の内容と所要時間とから、次式によって算出した工事完了時点( $X_2, Y_2$ )の施工速度 $Y'_2$ を用いてもよい。

$$Y'_2 = a_1 + 2a_2X_2 + 3a_3X_2^2 \quad (5.9)$$

図-5.33は、施工速度、すなわち接線の勾配によって出来高曲線の形状を制御する方法を高型、高S型、整S型、低S型および低型の各パターンに適用したものである。その結果を図-5.32の適用例と比較すると、機械的に曲線をあてはめた場合には適合性の良くなかったケースでも各々のパターンの適合性が相当向上していることがわかるであろう。こうした考察から、3次多項式の中に施工速度の概念を導入することは出来高曲線の予測方法として有効なことが実証された。



図－5.33 予測時点の施工速度を考慮した出来高曲線の予測事例

## 5. 土木工事施工の進捗管理における出来高曲線の利用方法

前節までの工程管理曲線ならびに出来高曲線に関する種々の考察結果を、マクロ的な進捗管理の観点から体系的に整理すると以下のとおりである。

- ① 出来高曲線の分布形状は、工期が360日以上のもものでは対角線を中心とするバラツキの小さい分布となり、バナナカーブに含まれる。360日以下の工事ではバラツキが非常に大きく、バナナカーブ



と同様の方法で作成した工程管理曲線はバナナカーブより上側にくる。

② 出来高曲線のパターンは、益率に関する指標によって、益率と益率の変化の大きい（高型、高S型）、益率と益率の変化の小さい（整S型、低S型、低型）とに大別される。工事規模は低S型が大きく、整S型は平均的である。整S型を示すものは工事内容によって工事管理特性の値が異なる。

③ 計画時と実施時の出来高曲線のパターンが同一の工事は全体の約70%である。計画出来高曲線は工事実施にあたっての管理目標となりうるが、実績出来高曲線の現在時点以後の動向を把握することが重要である。その場合、出来高曲線のパターンの変化に注目する必要がある。

④ 出来高曲線は工事進捗率の3次多項式で近似させることができる。現在時点以後の出来高曲線の予測にあたっては、工事内容の変更や設計変更に関する情報から、工事完了時点と工事全体の出来高を定めるとともに、前月出来高と今月予定出来高とから現在時点の施工速度を定めることによって、現在時点と工事完了時点を結ぶ3次多項式によって精度よく推定することができる。

⑤ 工程管理曲線はバナナカーブと同様の方法で定めることができるが、工事完了時点や工事出来高が変更された場合には、管理限界もそれらの変化率に比例させて修正しておく必要がある。

⑥ 実績出来高にもとづいて予測された出来高曲線は次の3点に注目しておく必要がある。(i) 工程管理曲線の管理限界を越えるかどうか、とくに下限と交わるかどうか。(ii) 最大施工速度の値は実行可能な限度を超えていないかどうか、また、時期的にも実施可能か。(iii) 出来高曲線が原点と工事完了時点を結ぶ直線とどの時点で交わっているか。

⑦ 出来高曲線が管理限界から外れた場合には、工種を単位として作成されているバーチャート工程表等を参照して、ネックとなっている工種及び作業を抽出し、工程の変更が可能かどうかなど実際の施工内容の検討を行なう必要がある。また、管理限界を外れていなくても、出来高曲線の最大施工速度 $Y'_{max}$ が実行可能な施工速度 $Y'a$ を上回る場合には、式(5.6)より

$$Y'_{max} = a_1 - a_2^2 / 3a_3 > Y'a \quad (Y'' = 2a_2 + 6a_3X = 0 \text{ のとき}) \quad (5.10)$$

$$Y'_{max} = a_1 + 2a_2X_2 + 3a_3X_2^2 > Y'a \quad (Y'' = 2a_2 + 6a_3X > 0 \text{ のとき}) \quad (5.11)$$

ならば、最大施工速度を小さくするように工程を修正する必要がある。

⑧ 出来高曲線のパターンの変化が認められると、益率に関する工事管理特性値が変化してきている可能性があるから、工程および原価に関する管理を強化する必要がある。

以上の工程管理曲線と出来高曲線による進捗管理は出来高曲線の挙動によって工事施工の進捗を判定し、工事全体のマクロ的な視点に立って今後の進捗管理上のネックを事前に捉えようとするものである。したがって、この結果にもとづいて具体的な対策を講じて施工進捗を改善するには、これとは別途の手法、例えば、本研究において考察してきたネットワーク手法や座標式工程表、バーチャート工程表等を総合的に活用して、講ずべき対策を明らかにしていく必要があるが、本研究はそうしたマ

クロ的な進捗管理の1方法を提案するとともにトータルシステム化への方向を明らかにしたものである。

## 第6節 結 言

土木工事施工は工事計画の作成段階ですべての施工条件を確定化しつくせるほど単純で安定的ではないために、工事施工の実施段階において構造物の挙動と工用資源の運用状態を分析して工事の進捗状況を把握しておく必要性が増してきている。このことは工事管理を合理化するための方法を確立することの重要性を表しているが、本研究では、工事管理の重要で中心的な要素である工程管理のトータルシステム化の方法について考察したものである。

まず、第2節においては、現在の工事施工上の諸問題に対して工事計画・管理の未成熟さに起因して合理的な対処の方法が確立されていないという点に注目して、工事計画のプロセスの確立と同時に、階層性を認識した工事管理プロセスの確立の必要性について述べた。そして、工事管理プロセスの確立は工程管理のシステム化を通して行われること、そのための工事の進捗状況の把握は日々の作業のレベル、資源運用に関連する工種のレベル、工事の進捗状況を評価する構造物のレベルのそれぞれのレベルにおいて行われるべきであることを明らかにした。そして、本研究における工程管理のシステム化の課題をとりまとめた。

第3節においては、ネットワークモデルによる工程管理の方法について考察した。工程管理を行うにあたっては、工事実施計画として作成された全体工程計画にもとづいて各月の実施工程表を作成し、それにもとづいて工事を実施していく必要がある。ここでは、まず、各工程経路と工期との関連性を定量化する指標を組み込んだデイトラインカットオフ法を援用した月間工程表の作成法について述べ、その事例を示した。また、全体工程計画にもとづく工程管理は工程計画のフォローアップによって行われるため、プレシデンス型ネットワークにおけるフォローアップの方法について考察した。そして、地下鉄工事における工程管理事例を通して、ネットワークモデルを用いた工程管理の有効性を実証するとともに、その有効性の理由の1つに、プレシデンス型ネットワークを用いることによって工程データの修正作業が容易であるということを実施例を通して体験的に明らかにすることができた。

第4節においては、施工実績情報収集のための工事日報の利用事例について考察した。工事日報は工事現場における施工記録の基礎データを与えるものである。工事管理や工程管理を合理的に行おうとすれば、そのデータ化の方法およびそれにもとづく管理データの作成方法を明らかにする必要がある。ここでは、大型コンピュータによる工事日報データの処理システムを用いることによって、工程実績データの作成や各作業の実績値の分析、同種作業の処理能力の習熟状況の分析等が有効に行われることを事例を通して明らかにするとともに、今後の課題について考察した。

第5節においては、それまでの作業のレベルを中心とする工事管理や工程管理の方法の合理化とともに、工事全体のマクロなレベルにおける進捗管理の方法も重要であるという考えから、出来高曲線を利用する方法について考察した。

土木工事施工においては、工種を中心として施工計画や作業計画が作成され、また、工種を中心とする個別的な管理を行うことが多い。これは、各工種で扱う資源の種類が異なり、それぞれの表示次元が異なることが1つの原因となっている。そこで、共通の評価尺度である金額にもとづく出来高曲線の利用が考えられ、まず、その統計的な特性について分析した。そして、その分布形状は工期や利益率などと関連性があることを示した。また、出来高曲線の形状のパターン化にあたって $(0, 0)$ と $(100, 100)$ を結ぶ直線との対応関係から5つのパターンに分類することが有効であることを示した。5つのパターンの出来高曲線の形状の当てはめに3次曲線を用いることとしたが、予測時点における施工速度を考慮した出来高曲線の予測モデルを提案し、その方法は5つのパターンの出来高曲線を精度よく推定できることを実証的に明らかにした。そして、そうした出来高曲線を利用したマクロな進捗管理の方法について考察した。

## 参 考 文 献

- 1) 春名 攻・田坂隆一郎：土木施工における工程計画・管理のシステム化に関する実証的研究，第5回土木計画学研究発表会講演集，PP. 638～647，土木学会，1983.
- 2) 春名 攻・田坂隆一郎：工事管理計画のシステムズアナリシスの方法と問題点について，第31回年次学術講演会概要集第IV部，PP. 90～91，土木学会，1976.
- 3) J. Fondahl：Networking Techniques for Project Planning, Scheduling and Control Handbook of Construction Management and Organization, Chapter 17, PP. 427～429 Van Nostrand Reinhold, 1973.
- 4) 川崎健次・田坂隆一郎・折田利昭：ネットワーク手法による施工進捗管理法に関する一考察，第32回年次学術講演会講演集第IV部，P. 277，土木学会，1977.
- 5) 川崎健次・春名 攻・西野久二郎・田坂隆一郎・折田利昭・安井英二：土木工事における施工計画・管理システムに関する研究，第1回土木計画学研究発表会講演集，PP. 124～140，土木学会，1979.
- 6) 川崎健次・田坂隆一郎・西野久二郎・折田利昭・安井英二：現場における工程計画・管理システム，第4回土木計画学研究発表会講演会，PP. 554～564，土木学会，1982.
- 7) 前出 1)。
- 8) 田坂隆一郎・折田利昭：工程のリプランニングを考慮したフォローアップの方法について，第36回年次学術講演会講演集第IV部，PP. 47～48，土木学会，1981.
- 9) 田坂隆一郎・折田利昭：現場の工程計画・管理におけるマイコン利用に関する一考察，第37回年次学術講演会講演集第IV部，PP. 99～100，土木学会，1982.
- 10) 前出 8)。
- 11) 川崎健次・西野久二郎：日報方式による施工管理情報の処理システム－NIPシステム－，施工技術第8巻第1号，PP. 54～64，日刊工新聞社，1975.
- 12) 前出 5)
- 13) 田坂隆一郎・折田利昭・安井英二：工程管理のための工事日報処理システムについて，関西支部年次学術講演会講演概要，IV－14，土木学会，1982.
- 14) 川崎健次・田坂隆一郎・折田利昭・安井英二：統計的方法による工事施工の進捗管理について，第10回業務研究発表会論集，PP. 97～117，建設コンサルタント協会大阪支部・建設技術資料センター，1977.
- 15) 飯吉精一：新しい建設業と施工経営管理，PP. 297～317，技報堂，1970.
- 16) 林 知己夫：データ解析の考え方，東洋経済新報社，1977.
- 17) 川崎健次・田坂隆一郎・安井英二：出来高曲線による施工進捗管理法に関する一考察，第31回年次学術講演会講演集第IV部，PP. 84～85，土木学会，1976.

## 第6章 工程管理を中心とする工事管理システムの開発に関する研究

### 第1節 緒 言

土木工事現場では、現場施工組織の編成とともに工事計画にしたがって労働者や工事用資源を調達し、それらを安全にかつ経済的に運用することにより、指定工期内で所定の品質水準の構造物が完成されるように工事を進めていく。工事が完了すると労働者や各種資機材を撤収してすべての施工活動を精算し現場事務所を閉鎖することになる。このように、土木工事現場における施工活動は、本来的には、その工事に限って適用されるクローズド（自己完結体的）な組織的活動として把握される。<sup>1)</sup>そして、その中で、工事着工から竣工に至るまでの工事施工業務を確実に遂行していくために、実にさまざまな工事計画、管理に関わる業務が行われることになる。工事の最盛期にもなるとそれらの諸業務が入り乱れ輻湊した状況を呈するが、こうした状況においても工事の進捗状況の実態を的確に把握して必要にして十分な対策を迅速に講じることが要求される。

工事管理システムは、正に、こうした目的のために構築されるものである。前章までは、工事の進行にともなう工事計画・管理の機能の把握、すなわち、工事の時間的推移にともなう工事施工活動の動的な挙動を明らかにすることがまず第一に重要なことであるという観点から、工程管理を中心とする工事管理のシステム化の方法を明らかにしてきた。この観点は、建設企業の保有するもしくは調達する技術者や労働者、各種資機材や資金を適正にかつ効率的に運用していくという、建設企業の組織的な運営管理の立場に立つとき、一層重要なものとなることは明らかである。つまり、各工事現場で運用される工事管理システムは、自己完結体としてのそれぞれの工事現場の合理化や機械化を図るのみならず、それらを直接的な生産部門として位置づけている建設企業全体の合理化や機械化を目指すものであり、オープンシステムの性格をも有していると考えられる。

このような構想のもとに構築される工事管理システムは、一般に非常に複雑なものとなり、その中で行われる業務情報処理は高度な内容が要求され、しかも、大量のデータ処理を必要とすることが予想される。こうした課題に対処するために、工事管理システムの構築は、コンピュータとその周辺装置の導入とそのためのデータ処理技術の適用を前提として設計される場合が多い。しかしながら、従来の工事管理システムは本社・支店のコンピュータ室に設置された大型コンピュータを用いて集中的なデータ処理を行うものとして設計されており、その利用方法は事務部門や技術部門を通しての間接的な利用が中心であった。つまり、工事現場における計画・管理業務の中でリアルタイムに適用されるものではなかったといえよう。

そこで、本研究においては、近年におけるエレクトロニクスとその周辺技術の発達を背景として、

マイクロコンピュータやオフィスコンピュータ等の小型コンピュータを工事現場に設置して大型コンピュータと有機的に結合させたコンピュータシステムを構築することにより、リアルタイムによる施工情報処理とトータルな工事管理を指向する工事管理システムの開発に関する研究を行う。そして、それらの諸研究の成果をモデル工事として取り上げた地下鉄駅部工事に適用することにより、本研究の有効性を検討することとする。

## 第2節 コンピュータを利用した工事管理システムの概念と課題

### 1. 工事管理システムの概念構想

従来、工事現場におけるコンピュータ利用といえば、コンピュータ室に設置された大型コンピュータを用いて、技術部門や事務部門を通しての間接的な利用が中心であった。ところが、マイクロコンピュータとその周辺装置の性能や価格が工事現場で利用することのできる水準になってきてから、そのような状況が一変することとなった。つまり、マイクロコンピュータやオフィスコンピュータなどの小型コンピュータを各工事現場に分散的に設置することにより、工事現場の担当者がそれらの機械を直接的に操作して、それら自体で独自のデータ処理や演算処理を行うことや、電話公衆回線を通しての大型コンピュータによるデータ処理や情報処理を行うことが自由にできるようになってきた。工事現場における管理業務は日々行われる工事施工業務に追従して行われるものであり、それらの管理業務にともなう情報処理機能の合理化と高度化を図ろうとする工事管理システムは工事現場において利用されてこそ、はじめて実的な意味を有するものといえる。

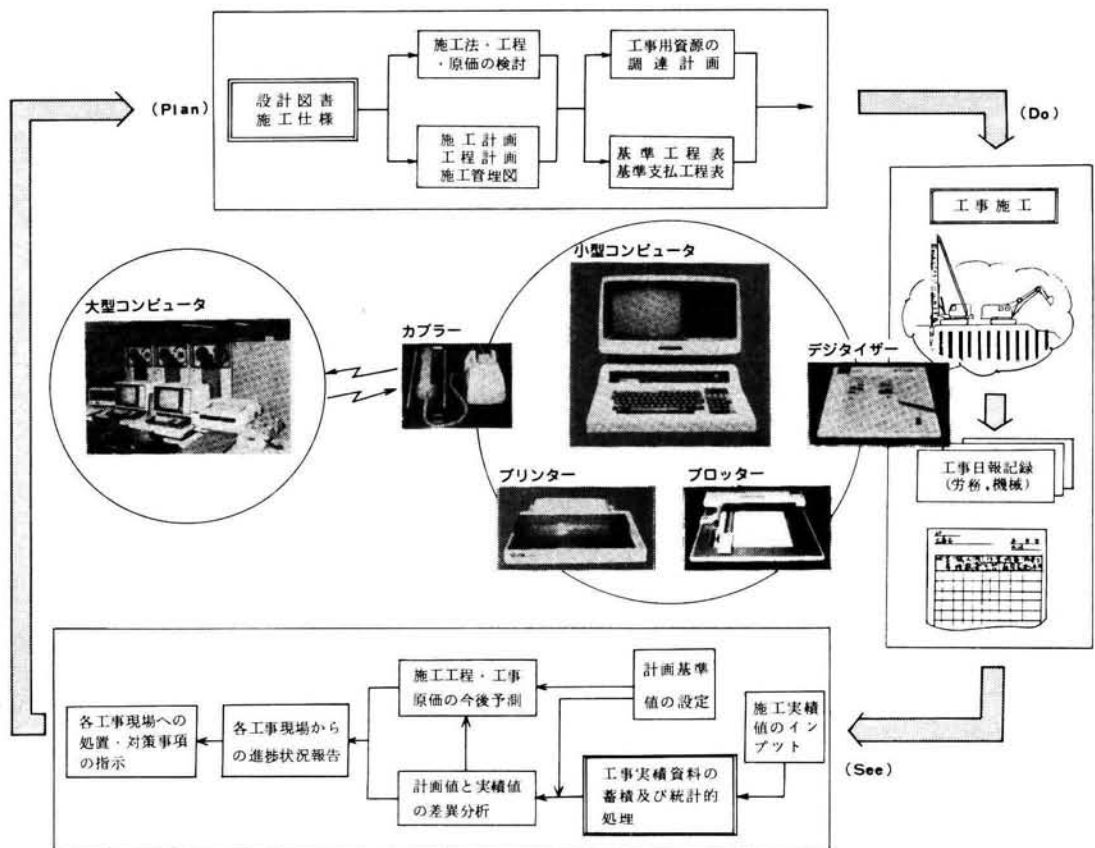
図-6.1は、コンピュータを導入した工事管理システムは基本的には大型コンピュータと小型コンピュータのそれぞれの処理能力と機能に見合った利用を図ること、つまり、両者の有機的な結合による機能分担方式に従うのがよいと考えて、これまでの本研究の成果をとりまとめて工事管理システム<sup>2)</sup>の概念構想として示したものである。すなわち、その構想とは次のようなものである。

まず、計画段階では、

- ① 設計図書や施工仕様にもとづいて、全体的な施工計画・工程計画や資源調達計画および各種管理計画を本社・支店に設置する大型コンピュータで作成する。
- ② 全体計画の基本的方針のもとに、各工種・各構造物の部分的で詳細な施工計画や季間、月間・週間の短期の工程計画およびそれらと対応する各種管理図表を工事現場に設置する小型コンピュータで作成する。

また、工事実施段階においては、

- ③ 小型コンピュータで作成した各月・各週の実施工程表と作業指示書にもとづいて日々の作業を実施するとともに、それらの施工結果を記録した工事日報の内容データを小型コンピュータに入力し蓄積する。



図ー 6.1 工事管理システムの概念構想

- ④ 日々の施工結果の精度や安全性や品質を施工管理基準に照して評価し、その分析結果は翌日作業の指示事項として工事施工にフィードバックされる。

そして、工事の管理段階においては、

- ⑤ 小型コンピュータを用いて、施工実績データを週間あるいは月間ごとに集計し計画値と対比してその差異を分析する。その結果にもとづいて週間あるいは月間の工程表を更新する。
- ⑥ 全体工程計画の更新は大型コンピュータを用いて行いが、工程修正の必要性と程度に応じて検討すべき作業計画、資源使用計画、施工計画の対象とその対策を明らかにする。その結果にもとづいて全体工程計画と実施予算を変更する。
- ⑦ 各月の工事計画データ、施工実績データ、工事管理データをとりまとめて、工事の進捗状況報告書を作成する。

上述の説明からもわかるように、図ー 6.1 に示した工事管理システムは工事の実施状況や進捗状況の実態把握を通して労務や資機材の運用をも含めて工事施工の今後の見通しを明らかにするために用いられる。一般に、業務処理の定型化に関しては、工事の進捗状況を時間的側面から把握しようとする工程管理業務よりも、工事用資源の投入実績から工事の進行状況を把握して工事施工の経済性の評

価を直接行おうとする費用管理業務の方が定型化が進んでおり、そのシステム化が第一義的でかつ緊急を要するものであると考えられている。しかしながら、工事の進捗状況は施工対象である構造物の完成状況と工事用資源の投入状況との対比によって明らかにされるのであり、そうしたことは施工工程を媒介することによってはじめて可能となる。

つまり、工事管理の実務においては、工事施工の実態を時間的側面から把握することが重要であり、それによって構造物の完成状況や工事用資源の投入状況などについても施工工程を媒介としてあるいはそれと対比させて分析することによって、工事の総合的な接捗状況を診断することができるのである。本研究においてはこうした考察のもとに工程管理を組みこんだ工事管理のシステム化の構想を明らかにしたものである。

## 2. コンピュータを導入した工事管理システムの課題<sup>3)</sup>

### 2.1 コンピュータの利用目的の明確化

工事現場における業務内容を大別すると施工業務と計画・管理業務に分けられるが、工事計画・管理業務は、施工業務のように資機材を取扱ったり直接作業を行ったりするのではなく、それらの計画を立てて作業の実施状況や工事用資源の投入状況を把握し、工事進捗状況の今後の見通しを分析して必要な対策措置を立案することであり、工事の計画や実施や管理に関わる情報やデータを用いてそれらの業務を行うことが特徴的である。したがって、コンピュータの導入による工事管理のシステム化は、それによって現場担当者の業務処理能力の向上と業務内容の高度化が図られ、それが工事施工の円滑な進行と工事現場の効率的な運営管理に役立つ限りにおいて、その意義と価値があるといえる。

### 2.2 コンピュータの適用分野の選定

工事現場で処理される計画・管理に関わる情報やデータは個々の工事によってその内容と精度が異なる。また、同じ工事の中でも工事の進捗状況によってその重要性が異なるなどの特殊性が認められるが、それらの処理プロセスや処理形態は共通することが多く、そうした観点から業務情報処理に注目することはコンピュータ処理の適用分野の選定に役立つことになる。

すなわち、業務情報の処理プロセスとしては、

- ① 計画・管理情報の収集・整理のプロセス、
  - ② データの加工処理（仕訳、集計、演算、蓄積、検索、編集）のプロセス、
  - ③ データの分析（各業務目的にしたがったの情報利用）のプロセス、
- に分類することができ、また、各業務におけるデータ処理の形態としては、
- ① 数値データ、項目データ、記述データの仕訳・集計、
  - ② 業務データの蓄積・検索、



③ 業務データの計画・管理計算の演算処理，

に分けることができる。現在，システム化や機械化の対象としている実際の業務内容が上記の諸事項のどれに該当するかを把握して，コンピュータの処理機能を明確にすることが重要である。例えば，工事の調査業務では収集・蓄積された実績データの中から特定条件のデータを迅速にかつ体系的に取り出したり，条件を変えてのデータ検索が必要とされよう。工程計画作成や工程管理の場合には，実際に規定される特定条件に対して計算条件を少しずつ変化させて演算しそれらの計算結果の中からもっとも望ましい解を選択することが要求される。また，労務や資機材等の支払い関係業務では，日々の日報データや伝票データを集計し，出来高調書から実績値を算出して工事施工の実態と照査しながら遅滞なくかつ正確に分類整理する必要がある。

## 2.3 コンピュータの導入条件の分析

工事管理業務の中にコンピュータを導入して管理業務の処理に十分な効果を発揮するようになるまでには，それ相当の時間と費用と手間を要する。したがって，工事管理のシステム化やその中のコンピュータ利用にあたっては，システム化の立場，範囲，対象とすべき管理業務の内容，システム開発の段階，コンピュータ導入の水準などについての構想や位置づけを明確にしてその内容を具体的に記述しておくことが肝要である。

まず，工事管理のシステム化の立場，範囲については，

- ① 全体的な経営管理システムの中での工事管理システムの構築，
- ② 現行業務体系の中での工事管理業務の組織化，
- ③ 工事現場における特定の計画・管理業務の体系化，
- ④ 工事施工情報の収集・処理の機械化，

という4つの段階が考えられ，それはシステム化の階層性や実働性に関連するものといえる。

次に，システム化の対象業務としては，

- ① 計画段階：工事情報の調査収集，仮設計画，工程計画，資源計画，施工管理計画，実施予算の作成，
  - ② 実施段階：労務・資機材の手配，施工監督，現場計測，日報・伝票集計，出来形測量，
  - ③ 管理段階：計測による安全管理・品質管理，労務・機械・資材管理，工程管理，費用管理，
- に分類することができる。これらの諸業務に対してコンピュータを導入することによる省力化効果，管理業務の高度化のメリット，システム開発に要する費用，時間，手間を検討して，システム化や機械化の対象業務を選定することが重要である。

工事現場における業務処理にコンピュータを導入する場合，大型コンピュータと小型コンピュータのそれぞれの機能に適合した業務処理を行う必要がある。一般に，大型コンピュータは，データ処理

の速度と容量、オペレーティングシステムやアプリケーションプログラムの汎用性、コンピュータ言語の互換性において優れ、大量データの処理や大容量演算の高速処理に適している。一方、小型コンピュータは、データ入力処理の多様性、マン・ツーマシンの対話型処理、デスクトップタイプと呼ばれるコンパクトさにおいて優れ、業務データの形態や様式に合わせた入力処理、日常業務の中での即時処理、個別的な単能的演算処理、工事の状況や想定条件に合わせて行う対話型処理に適しているといえる。

大型コンピュータや小型コンピュータを用いて管理業務のシステム化や機械化を行う場合、選定した業務が次のどの段階にあるかを明らかにすることは、システム化の水準を把握するのに役立つ。すなわち、

- ① 現行の大型コンピュータによる処理業務に加えて、工事管理業務を小型コンピュータを用いて処理し、高度化する。
- ② 現行の定型的な工事管理業務を現場設置の小型コンピュータを用いてシステム化あるいは機械化する。
- ③ 現行の工事管理業務の定型化から取りかかり、次いで現場設置の小型コンピュータによる処理へと移行する。
- ④ 現行の工事管理業務の中で大型コンピュータによる処理が可能な業務の機械化を行い、工事管理業務の定型化を図る。

ここで、定型的な業務とは、伝票類や工事日報のように、書類の様式や記入項目や処理手続きが確立されている業務であり、これらの業務処理をコンピュータプログラムに書き写すことは比較的容易である。コンピュータ化によるメリットは、業務データ作成の省力化、業務データの検索処理の迅速化、出力データの編集、作図表の自動化など、コンピュータのハードウェアの性能と処理能力に依存することになる。

これに対して、定型化されていない業務とは、仮設計画、工事費用の見積り、工程計画の作成および各種の施工管理のように、工事ごと作業ごとの個別性が強く、担当技術者の個人的技術能力や工事経験の豊富さに依存するところの多い業務である。このため、業務情報の処理に関しても工事ごとの個別性に強く支配される。しかしながら、このような業務においても、各種の設計々算法や見積り技術や計画・管理技法の発達とコンピュータ処理技術の普及にともなって、従来の方法では困難であった問題がつつぎとコンピュータ処理されるようになっていく。つまり、それらの業務の定型化が進んでいくといえよう。

工事管理のシステム化や機械化と業務内容の定型化との関係は上述のようであるが、システム化の対象の選定にあたってはシステム化の基本的な立場や範囲に直接的に関係して、しかも、業務処理の定型化の見通しのある管理業務を選定することが重要である。そのような業務をコンピュータ処理す

ることのメリットは大きく、本研究において取り上げる工程管理業務は工事管理のシステム化に関するそうした諸条件を満足するものである。

他方、すでに定型化されていてコンピュータ処理への移行が容易な業務であっても、工事管理のシステム化という観点からは業務処理の機械化のメリットが明白でなかったり、反対に業務処理上の負担が増大する危険性が予想される場合には、システム化の適用対象や方法・手段を再検討する必要がある。工事管理のシステム化や各種管理業務へのコンピュータの導入は工事施工という生産活動の実務に対して直接的なあるいは間接的な合理化の効果を生み出すことが目的であるからである。こうした意味において、工事管理システムの開発段階が次のどの段階にあるかを明確に把握することは重要なことであろう。

- ① システム化の対象の選定と概念構想の確立,
- ② 実験システムの開発とモデル工事への適用,
- ③ システムの改良・高度化と実工事への導入,
- ④ システムの汎用化と各工事現場への普及・定着。

### 3. 工事管理システムにおけるコンピュータの構成要件

#### 3.1 現場設置の小型コンピュータに要求される機能<sup>4)</sup>

本研究においては、工事管理システムの基本的構成として、すでに示したように、

- ① 大型コンピュータによる全体的な工事計画の作成,
- ② データ通信による大型コンピュータと小型コンピュータの結合,
- ③ 小型コンピュータによる工事現場管理業務の処理,

を明らかにしている。これらの中で、大型コンピュータとしてACOS700を用い、データ通信は公衆通信回線を利用することにする。これらの機械処理とくに大型コンピュータによる処理についてはこれまでの研究の中で実証的に明らかにしてきたので、ここでは、小型コンピュータによる処理を中心として考察することとする。

工事管理システムは工事現場における管理業務の中で運用され、現場に設置した小型コンピュータを操作するのは現場技術者であるから、機械機種を選定や機械操作とデータの入力処理の設計にあたってはそうした状況をよく考慮しておかなければならない。

まず、小型コンピュータによる処理システムとして、次の要件を満たす必要がある。

- ① コンピュータの取り扱いに不慣れな現場技術者が容易に操作することができる。
- ② データの入力処理が煩雑でなく、入力データのチェック、訂正、追加が容易である。
- ③ 月次処理に必要かつ十分な工事管理データをストックすることができる。
- ④ 各種管理書類・提出書類作成のために、カナ文字表示もしくは漢字表示が可能で、かつ、図形デ

ータの入力・出力の処理ができる。

- ⑤ データ通信の能力がある。
- ⑥ 工事現場に設置する機器であるから、コンパクトでメンテナンスが容易であり、また、安価である。

### 3.2 小型コンピュータの構成要件

小型コンピュータ独自で各種管理データの処理を行うためには、基本的に次のような構成が必要と<sup>5)</sup>される。

- ① 演算処理装置、
- ② 入力装置、
- ③ 外部記憶装置、
- ④ 出力装置、
- ⑤ データ通信装置。

これらの装置の中で、演算処理装置や外部記憶装置は必要な記憶容量を持っていることが基本的な要件であり、出力装置とデータ通信装置については一定の規格のものをを用いることになる。しかし、入力装置については、種々の種類や方式のものがあって、入力装置の選択と入力方法の設計の良否は小型コンピュータを操作する技術者に直接的な影響を与え、工事管理システムや工程管理システムの現場管理業務への適用性を左右するほどの重要な要素であるといえる。

一般に、多種多様な工事管理データを英数字の組合せコードとして入力することは、入力項目数、入力処理回数の面からも操作する技術者に対して多大の負担を与えることになる。ここでは、データ入力処理の簡易化や入力エラーの軽減、コンピュータ処理への抵抗感の排除等を図るために、コードレスの入力方式を取ることのできる各種の入力装置について検討することにした。

コードレスの入力方式を取りうる装置としては種々のものがあるが、その中で実際に利用可能な方式のものをとりまとめて比較したものが表-6.1である。これらのほかにもファクシミリを用いて入力する方法や音声入力方式などがあるが、まだ十分に実用化の段階にあるとはいえない。これらのコードレスの入力方式とキーボードのみによるコード入力方式を比較すると以下のような特長を上げることができる。

- ① 工事現場で通常用いられる用語で表示されていて、実務者が見易く、熟練していなくても入力操作が容易である。
- ② 入力項目の配列や表示法に自由度がある。
- ③ 入力側でのコード変換が不要である。
- ④ 入力チェックがしやすく、ミスが減少する。

表- 6.1 小型コンピュータの入力装置比較表

特 徴 方 法		項目名称(メニュー) の 表 示 方 法	データの入力方法	入力項目数	備 考
マークカードリーダー		<ul style="list-style-type: none"> <li>カード(JIS C6244)に項目名称を印刷する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>カード上の該当する箇所を黒くぬりつぶし、読取装置を介して入力する。</li> </ul>	JIS C6223に準拠すれば 80×12	<ul style="list-style-type: none"> <li>データ作成を分散できる。データ入力が短時間である。項目名称をあらかじめ印刷しておく必要がある。名称の変更が困難である。</li> </ul>
汎用 キー ボード デ ィ ス プ レイ	キーボード式	<ul style="list-style-type: none"> <li>キャラクタディスプレイ上にメニュー(英数字, カナの項目名称とに対応するコード)を表示する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>メニューの選択はプログラムあるいはファンクションキーで行なう。該当する項目に対応するコードをキーボードから入力する。</li> </ul>	1画面に表示可能な文字数 標準80×24	<ul style="list-style-type: none"> <li>入力コードを内部コードとして用いればコード変換が不要になる。選択項目数が多く英数字, カナ表示であると見づらくなる。</li> </ul>
	ライトペン式	<ul style="list-style-type: none"> <li>残光性の高いディスプレイ上にメニュー(英数字, カナ, 漢字, 図形)を表示する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>メニューの選択はプログラムあるいはファンクションキーで行なう。該当する項目の位置をラインペンで指す。</li> </ul>	1画面に表示可能な文字数	<ul style="list-style-type: none"> <li>グラフィック機能があればメニューレイアウトの自由度が増す。画面上の位置データを内部コードに変換する処理が必要である。キーボード式と共通するがメニュー表示と既入力内容の表示を同時に行なうことができる。</li> </ul>
多 項 目 入 力 装 置	ベルト式	<ul style="list-style-type: none"> <li>透明キーボードの下にメニューを書いたベルトを置く。</li> <li>内容はキートップの大きさ(17×20mm)に入るものであれば文字, 図形, 色によるメニューが利用できる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>メニューの選択はプログラムあるいはキーボード上の選択キーを押す。データ入力メニューでの該当項目のキーを押す。</li> </ul>	96項目/ページ 24ページ/カートリッジ 15カートリッジ使用可能	<ul style="list-style-type: none"> <li>内部コードを設定することにより標準キーボードを兼用できる。ページ交換を自動的に行なうことができる。</li> <li>ページコードとキーコードにより内部コードを参照する処理が必要になる。</li> </ul>
	ページ式 スライド式	<ul style="list-style-type: none"> <li>キーのならんだ盤上にカートリッジを置く, 内容は表示穴(10×20mm)から見えるものであればよい。</li> </ul>	同 上	100項目/ページ 10ページ/カートリッジ 63カートリッジ使用可能	同 上
座 標 読 取 装 置		<ul style="list-style-type: none"> <li>座標読取装置上にメニューシートを置く。内容は文字, 図形, 色を用いた任意の表示が可能。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>一連のメニューをシート上に作成する。該当する項目の位置をスタイルラスペンで指す。</li> </ul>	座標読取有効範囲内のメニューシート上で任意。	<ul style="list-style-type: none"> <li>メニューシートのレイアウト, 表示方法が柔軟性に富む。他に図形入力が可能。位置データの内部コードへの変換が必要。</li> </ul>

⑤ 同時に複数文字が入力でき、入力可能な項目数が多い。

さて、実際の工事管理データは項目データが多く、コードレスの入力方式によってもそれらの該当項目をいかに迅速に検索しかつ確実に簡単に入力できるかが重要となり、メニュー表示の入力方法の良否が問題となる。とくに工事日報データは数多くの項目データを必要とすることから、すべての入力項目を一枚のメニューシートに配列することが重要である。

本研究においては、こうした種々の側面から入力方法を検討して、デジタイザー上にメニューシートをセットして該当項目をワンタッチで入力することのできる方式を採用することとした。この方式によると、上記の①～⑤のほかには次の特長が認められる。

⑥ メニューシート上の項目の表示が柔軟性に富み、漢字、かな文字、英数字、必要ならば図形表示ができる。

⑦ 項目の配列と大きさを自由にデザインでき、必要に応じた規格のものを選択することができる。全項目を1枚のメニューシート上に表示することもできる。

⑧ 2次元の座標データとして表され、工事日報データの入力のほかに、工程表を用いて工程データの直接的な入力も可能である。

⑨ 1枚のメニューシート上に項目データのほかに、データの編集や入出力処理のコントロール機能を付加させることができる。

表-6.2および写真-6.1～4は以上のような検討にもとづいて選定した小型コンピュータシステム<sup>6)</sup>の構成である。

### 第3節 現場設置の小型コンピュータを利用した工程管理システムの設計事例

#### 1. 工事現場における工程管理システム<sup>7)</sup>の構想

前章において、工事管理のシステム化は工程管理を中心として行われるべきであることについて述べ、具体的にはネットワークモデルを導入した工程管理と出来高曲線を利用したマクロな進捗管理の方法を提案した。後者については、従来から行われてきた工種を中心とする個別的で部分的な視点からの工事管理に対して、統合的で全体的な視点からの工事管理の必要性を明らかにしてその具体的方法を示した点に意義がある。座標式工程表やシミュレーション手法をも含めての総合的な工程管理手法の確立の可能性を示したものと見える。前者のネットワークモデルを導入した工程管理については、全体工程ネットワークのフォローアップの方法とデッドラインカットオフ法を援用しての全体工程ネットワークから季間・月間・週間等の部分工程表の作成方法を示して、全体工程計画に示されている施工方針に則った期間別の工程管理の可能性を明らかにした。しかしながら、前章で示した工程管理の方法は本社・支店に設置されている大型コンピュータを用いて行う方法であり、工事現場にいる技

表-6.2 小型コンピュータシステムの構成

- 1) マイクロコンピュータ本体 ( ソード電算機システム、M 223 markⅢ ……写真-1 )
  - 記憶容量 ( ROM 2KB RAM 64KB )
  - キーボード ( JIS 改良型 )
  - ディスプレイ ( 12" グリーン, 80字×24行 )
  - 外部記憶装置 (  $5\frac{1}{4}$ " フロッピーディスク、350 KB×2 )
  - 使用言語 ( BASIC, FORTRAN, COBOL アセンブラ )
  - データ通信 ( TBASIC で可能 )
- 2) プリンター ( EPSON、MP-100 ……写真2 )
  - 印字文字 ( インパクトドットマトリクス )
  - 文字種類 ( JIS 160 種 ( 英小文字も含む ) )
  - 桁数 ( 136 桁 )
  - 印字速度 ( 80 字/秒 )
- 3) デジタイザー ( 武藤工業、BIT PAD-ONE ……写真-3 )
  - 有効範囲 ( 11" × 11" )
  - 分解能 ( 0.1 mm )
  - サンプルングレート ( 1, 5, 10, 20, 75, 150, 200 point/sec )
  - 出力形式 ( EIA/RS 232, IEEE-488 標準, 8 ビットパラレル )
  - 入力 ( スタイラスペン, 4 ボタンカーソル )
- 4) 音響カプラ ( 田村電機, ACTAM 350 ……写真-4 )
  - 通信路数 ( 1 通信路 )
  - 通信方式 ( 半二重通信 )
  - 伝送方式 ( 直列伝送 )
  - 通信速度 ( 300 ビット/秒以下 )



写真-1. マイクロコンピュータ本体

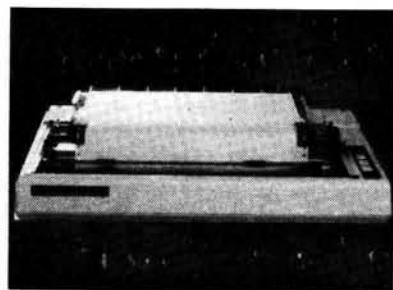


写真-2. プリンター

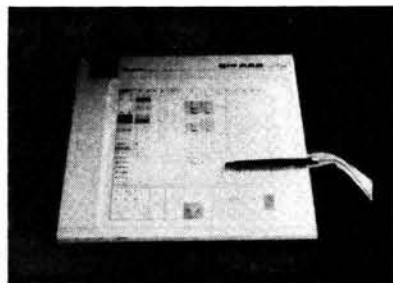


写真-3. デジタイザー

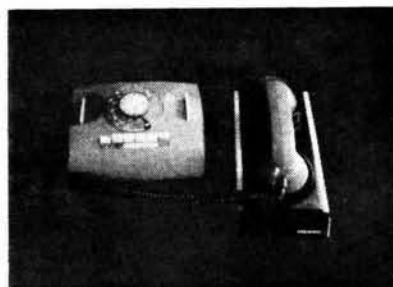
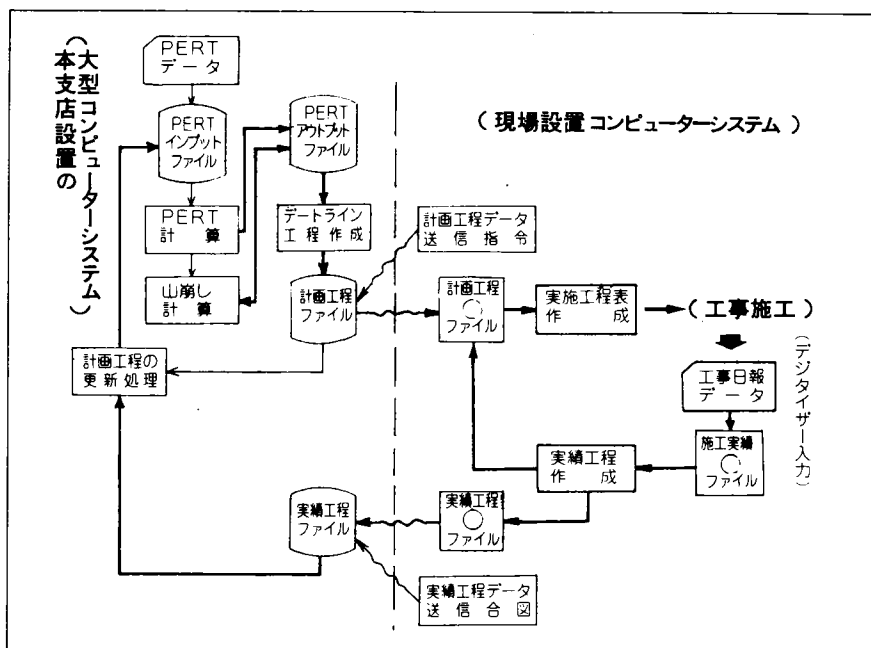


写真-4. 音響カプラ

術者が日常的な施工業務や管理業務の中で適用することのできる工程管理方法ではなかった。つまり、ネットワークモデルを導入した工程管理の方法が工事現場における実務の中で有効に機能するためには、膨大な量の工程データを用いての高度で複雑なスケジュール計算を必要とする全体工程計画の作成機能と、全体工程計画のもとに工事を実施し施工実績にもとづいて統制していく工程管理機能の両者を満足させる必要がある。

ここで提案する工程管理システムは、以上のような考察をもとに考案したもので、次のような構成としている。すなわち、本社・支店に設置する大型コンピュータを用いて作成した全体工程計画のもとに、工事現場に設置した小型コンピュータを利用して行うもので、図－6.2に示すような構成となっている。すなわち、大型コンピュータにおいては、

- i) プレシーデンス型ネットワークによる全体工程計画の作成、
  - ii) デートラインカットオフ法による部分工程表（以下、デートライン工程表と呼ぶ）の作成、
  - iii) 全体工程計画のフォローアップ、
- などの処理を行い、現場設置の小型コンピュータの側では、
- iv) デートライン工程表にもとづく月間もしくは週間の実施工程表（計画工程表）の作成、
  - v) 工事日報による施工実績データの入力と作業実績値の集計、
  - vi) 実績工程表の作成と計画工程表との対比分析、



図－6.2 オンラインによる工程計画・管理システム



VII 翌月または翌週の実施工程表の作成および調整，  
などの処理を行うものである。

上述の説明からもわかるように，当システムの特長は

- ① プレシーデンス型ネットワークによる全体工程計画から各工程経路の所要残日数を求めた3～4ヶ月間のデットライン工程表を作成し，それにもとづいて各月各週の実施工程表を作成する。
- ② 工事施工の結果は工事日報データとして計画工程と対比可能な様式で集計し，実績工程表を作成する。
- ③ 翌月工程表の作成は実績工程と計画工程との差異分析にもとづいてデットライン工程表のスケジュールデータを更新して行う。そして，資源の調達状況や作業工程の実施状況に合わせて細部の日程を調整して翌月の実施工程表を確立する。
- ④ 3ヶ月間を経過するか，もしくは月間工程表のレベルでの計画工程と実績工程との対比分析が無意味な状態になると，全体工程計画をフォローアップして工事の施工方針をそれに合せた内容に変更する。

というように，全体工程計画の枠組みでの実施工程表の作成，実績工程表と計画工程表との対比，工事施工の実施状況の全体工程計画へのフィードバックによって一貫した方針のもとに工事管理を行うように意図していることである。そして，その中で，大型コンピュータと小型コンピュータがそれぞれの機能に応じた処理を分担することにより，システム全体としての整合を保ちつつ各部分がきめ細かく対応することのできる工程管理システムを構築するのである。

大型コンピュータによる全体工程計画の作成とそれにもとづくデットライン工程表の作成および全体工程計画のフォローアップについては，すでに第4章および第5章で実証的な考察を行っており，ここでの説明は省略することとする。

以下に，大型コンピュータの全体工程計画のスケジュールデータを用いての，現場設置の小型コンピュータによる工程管理システムの設計について考察する。

## 2. データ通信による工程データの伝送方式の検討

大型コンピュータによって作成された全体工程計画のスケジュールはプロッターやプリンターを用いて全体工程表や各種資源山積み図として出力される。プロッターによって描かれた全体工程表は各施工ブロックのスケジュールが暦日と経過日数で表わされ，各作業の内容は構造物部位，工種，作業が容易に判読できるように漢字混りかな文字で表示される。また，仮設資材等の転用順序も明記することができる。これらの図化された工程表や資源山積み図は各工事現場に郵送されることになる。

また，季間のスケジュールを表示するデットライン工程表も同様にプロッターを用いて作成されるが，そのスケジュールデータは公衆通信回線を通して現場設置の小型コンピュータに伝送されること

になる。その場合、データ伝送速度（シリアル入力バッファへの書き込み速度）と小型コンピュータ内部処理速度（フロッピーディスクへのアクセス速度）との整合の問題が生じる。つまり、公衆通信回線を通して伝送されてきたデータのすべてが小型コンピュータのディスクファイルに書き込まれないうちに次の組のデータが伝送されてきて格納すべきデータに欠落が生じる場合がある。このことを避けるための対策としては、次のような方法が考えられる。すなわち、

- ① 通信制御手順を無手順方式から手順付き方式に変える。
- ② データ伝送速度をディスクファイルへの書き込み速度に応じて変える。例えば300 BPSを150 BPSにする。
- ③ 伝送データの単位を小さくするとともに、受信したデータをメモリーバッファに一時的に受ける。

バッファ内の受信データがディスクに書き込んだ後に次のデータを受信する。

などの方法が考えられる。小型コンピュータの通信制御能力やデータ伝送時間などを考慮して、③の方法によることとしてデータ転送プログラムを作成した。しかし、データ通信の信頼性を向上させるには、基本的には手順付き通信制御方式として、データ伝送速度およびデータ書き込み速度を早くするなどハードウェア上の問題を解決することが必要である。

次に、小型コンピュータと大型コンピュータにおけるビット構成の互換性の問題がある。小型コンピュータの機種によっては大型コンピュータと文字データのビット構成の異なるものがあるので、当システムでは全体工程計画で用いる文字データをすべて数字コードに変換してそれをデータとして伝送することにした。小型コンピュータの側ではディスクに格納ののちスケジュールデータの出力処理の段階で文字データに逆変換して作図表に用いることとした。

### 3. 小型コンピュータによる各月の実施工程計画<sup>8)</sup>の作成

大型コンピュータから伝送されてくる3～4ヶ月分の工程データは、ここではプレシーデンス型ネットワークを用いているので、各作業データと順序関係データとに分かれており、そのままの形式で小型コンピュータに格納するようにしている。工事現場では、これらの工程データの中から当月分の作業スケジュールデータを抽出して、図-6.3に示す手順によって、各月の実施工程計画を作成して工事を実施することに

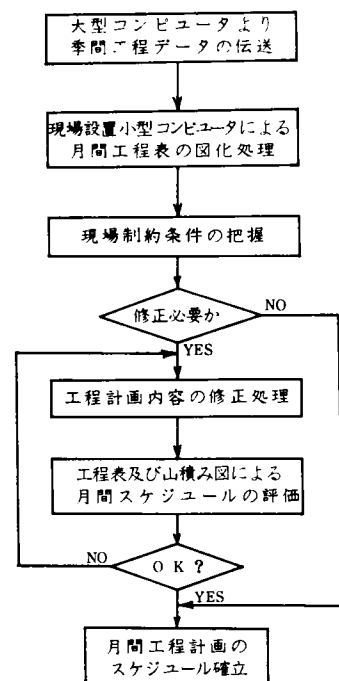


図-6.3 月間工程計画の作成フロー

なる。

各月の実施工程計画は各月の作業日程を表すものであり、作業スケジュールと職種別作業員の日々の所要人数が必要である。それらのバックデータとして、各作業のスケジュールデータが要求されることから、ここでは、月ごとに

- ① 計画工程表、
- ② 職種別山積み図、
- ③ 計画工程表リスト、

をプリンターで出力させることにした。最近では、小型コンピュータにも接続できるような漢字プリンターやグラフィックプリンターが出現していることを考えると、図形の出力の場合でも漢字やかな文字の表示に不向きな簡易プロッターよりも、プリンターを有効に利用していく方法を考案していくべきであろうと思われる。

計画工程表は月間の作業スケジュールを図化したものであるが、プリンターでの表示によっても見易いものとなるように種々の工夫を必要とする。図-6.4はそのデザインを示したもので、工程表の冒頭に各作業の工種レベルと作業レベルの名称と2文字の英字記号との対照表を与え、各施工ブロックごとに区分して表示することにした。各作業は英字記号とカナ文字で表した構造物部位名称でその内容がわかるようにした。そのために3カラムを1日とするとともに休日マークを付して暦日表示とした。そして、月末に各工程経路の所要残日数を示して全体工程表によらずとも全体工期との関係を定量的に把握できるようにした。

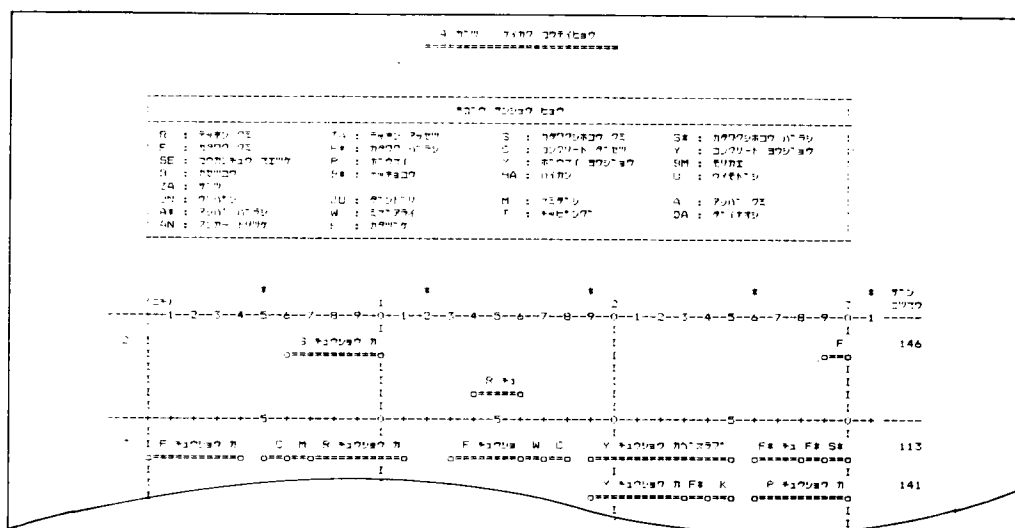


図-6.4 プリンターにより出力した計画工程表

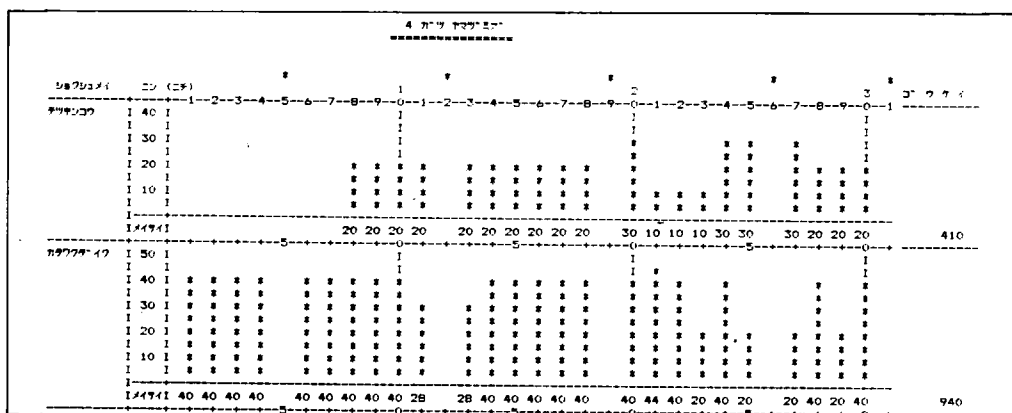


図-6.5 計画工程表と対応する職種別資源山積み図

職種別山積み図は、図-6.5に示すように、計画工程表との対応関係がよくわかるように各職種をとりまとめて図示するとともに、日々の所要作業人数と各月の延所要人数を示して作業員の調達配置の管理資料として利用できるようにした。

計画工程表リストは、大型コンピュータから伝送されてきたデータライン工程表の各作業のスケジュールデータを月ごとに一覧表示したもので、図-6.6に示すように、各作業ごとに、施工ブロック、構造物部位、工種、作業の各名称、資材名、施工数量、作業の開始日、終了日、所要日数、各職種の所要人数、作業歩掛および各工程経路の所要残日数を示したものである。このリストは各月工程計画のフォローアップやスケジュールの変更の際に利用することになる。

作業内容の修正・削除・追加や順序関係の修正・削除・追加をとまなう工程計画の修正方法としては、基本的には第5章で述べた方法を適用することができる。しかし、大型コンピュータで作成した全体工程計画と小型コンピュータで作成する各月の工程計画との違いは、全体工程計画が計画段階に

4. 計画工程表と対応する職種別資源山積み図														
ブロック	ブ	イ	コウシュ	リ	シ	ミ	カ	シ	シ	1	2	3	4	5
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
25	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
26	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
27	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
28	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
29	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
30	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
31	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
32	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
33	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
34	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
35	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
36	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
37	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
38	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
39	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
40	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
41	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
42	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
43	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
44	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
45	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
46	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
47	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
48	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
49	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
50	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
51	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
52	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
53	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
54	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
55	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
56	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
57	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
58	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
59	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
60	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
61	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
62	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
63	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
64	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
65	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
66	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
67	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
68	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
69	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
70	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
71	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
72	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
73	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
74	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
75	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
76	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
77	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
78	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
79	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
80	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
81	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
82	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
83	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
84	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
85	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
86	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
87	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
88	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
89	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
90	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
91	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
92	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
93	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
94	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
95	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
96	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
97	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
98	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
99	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
100	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

図-6.6 現場設置の小型コンピュータに格納されている工程データリスト

において想定した施工条件のもとに標準的で平均的なデータを用いて作成したものであるのに対して、各月の工程計画は工事施工の進行の中で実際の施工条件たとえば資機材の搬入予定や外部の制約による作業着手条件などに対して施工実績に裏打ちされた工程データを用いて作成することである。つまり、図－6.4～6.6の工程計画に対して実際の施工状況に合わせての調整や修正が必要とされるわけである。このような工程データの処理は各月工程計画のフォローアップにおいても必要であるので、その中で詳述することとする。なお、各月工程計画のフォローアップに用いられる実績工程データの作成処理に関しては後述の工事日報を利用した施工実績情報処理システムの設計と関連して考察する。

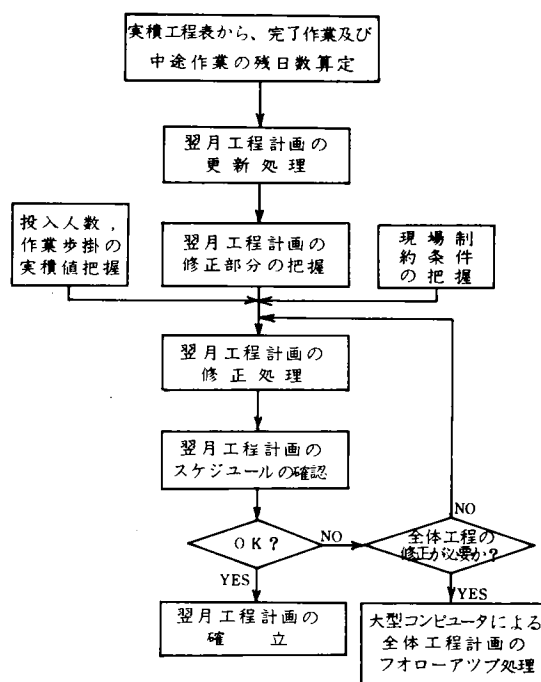
#### 4. 各月工程計画のフォローアップと修正処理<sup>9)</sup>

さて、当月までの実績工程データが得られると、小型コンピュータに格納されている計画工程データを用いて翌月計画工程表を作成することになる。それは図－6.7に示す手順で行われ、そのために以下に示す事項についてそれぞれの処理方法を確立する必要がある。すなわち、

- ① 実績工程データにもとづく計画工程データの更新処理、
  - ② 計画工程データの修正・変更処理、
  - ③ 資源山積みの平滑化および作業着手条件による作業スケジュールの調整、
- および、これらの処理作業を円滑に行うための
- ④ 工程データの入力処理、
- に関して実際的な検討と設計が必要とされる。

##### (1) 計画工程データの更新処理

実施工程表にもとづいて工事を進めていったとしても、それぞれの作業の進行は工程計画に示されているスケジュールに比べていくらかの遅速を生じるのが普通である。しかも、通常の場合、工事プロジェクトはいくつかの工区に分割して施工されるので、直接的にはコントロールが困難な隣接工区からの影響や周辺地域からの影響を受けることも少くない。そして、各種資源の調達スケジュールの変更や設計変更にもとづく施工計画の変更などもあって、数ヶ月の間には全体工程計画レベルのフォローアップや再計画を行わなければならないほどに工事の進捗状況と計画工程との間に差異が生じてくるといのが土木工事の実態である。本研究においては、全体工程計画にデータラインカットオフ法を



図－6.7 小型コンピュータによるフォローアップの処理手順

適用して小型コンピュータに伝送する工程データを3～4ヶ月分に定めているが、これは、上述のような土木工事の実態把握と工事計画・管理への本研究の方法の適用経験を通して、全体工程計画のフォローアップの間隔として2～3ヶ月を基準とするのがよいと判断したことによっている。

さて、各月における工事施工の進捗は施工実績データを集計することによって把握することができるが、翌月の計画工程を更新するためには、各施工ブロックにおける当月末時点での完了作業と施工中作業およびその残日数を求めることが必要である。翌月の計画工程データは次のようにして作成することができる。すなわち、すでに求めている実績工程データに照して、計画工程データの中から完了したすべての作業を消去するとともに施工中作業については残所要日数を新しくその作業の所要日数とすることによって、翌月以降に着手予定の作業で構成される計画工程データファイルを得る。

この計画工程データを用いての翌月計画工程の更新処理の方法として次の2つの方法を考案した。

#### ①（中づめ法）

進行の遅れている施工ブロックについては月初めの作業着手を遅延日数分だけ遅らせるが、予定より進行の早い施工ブロックについては全体工程計画で定めたスケジュールに従うように進行日数分のリードタイムを中づめして、PERT計算を行う。

#### ②（前づめ法）

月初めの作業着手を、進行の遅れている施工ブロックについては遅延日数分だけ遅らせ、予定より進行の早い施工ブロックについては進行日数分だけ前づめして、PERT計算を行う。

すなわち、進行の遅れている施工ブロックのスケジュールは遅延せざるを得ないが、進行の速い施工ブロックのスケジュールについては、中づめ法では全体工程計画のスケジュールに従ったものにしようとするのであり、前づめ法では進んだ日数分だけ作業着手を早めようとするのである。前づめ法によると、作業スケジュールが各月の前半部分にとくに集中する状態となって資源山積みの平滑化のために山崩し計算法を適用する必要性が生じる。このために、この方法を用いて作成した各月のスケジュールは全体工程計画の枠組みに従いかつ資機材の搬入予定を満すものであるという保証は与えられていない。一方、中づめ法の場合には、全体工程計画自体が資源山積みの平滑化の処理を施したスケジュールであるために、全体工程計画の枠組みに従い資機材の搬入予定をほぼ満すスケジュールを与えるケースが多いといえる。したがって、資源山積みの平滑化に際しても、各作業のスケジュールを直接操作して行うという直接的で簡単な方法を適用することができるようになる。

#### (2) 計画工程データの変更・修正処理<sup>10)</sup>

翌月計画工程を更新したとしてもそれがそのまま翌月の計画工程表として用いられるのではなく、施工手順や作業方法や作業投入人数の変更、作業処理能力の修正などがあれば、計画工程データをそれに合せて変更・修正しなければならない。

施工計画の変更などのように全体的な変更は全体工程計画レベルの問題として扱われるので、月間

工程計画のレベルでは主として次の事項に対応する変更処理を行う。

- i) 各職種の投入工数の変更,
- ii) 施工実績データにもとづく作業投入人数や作業処理能力の修正,
- iii) 補助作業や雑作業の表示,
- iv) 作業着手条件の制約。

これらの中で、i) および iv) に対する計画工程データの修正処理の方法については次項に示すことにする。ii) および iii) に関しては、

- ① 作業データの修正,
- ② 作業の追加, 削除,
- ③ 順序関係の追加, 削除,

という計画工程データの入力処理方法の簡易化と密接に関連しており、そこで具体的に考察することとする。

### (3) 資源山積みの平滑化および作業着手条件による作業スケジュールの調整<sup>11)</sup>

月末時点で計画工程データを更新し、必要な変更・修正処理を行って作成した翌月計画工程に対しては、各種資源の調達数の制約や各作業の作業着手条件を満たすように調整を施し、実行可能なスケジュールとする必要がある。

資源山積みの平滑化や作業日程の調整の方法として、ここでは次の2つの方法によることとした。すなわち、

#### ① (スライド法)

小型コンピュータから出力した翌月の計画工程表、職種別資源山積み図、工程データリストを見て、調達制限数を越えている期間に当る作業を前後にスライドさせることによって、調達制限数の範囲内に納まるようにスケジュールする。

#### ② (山崩し法)

月末時点で更新し、必要な変更を行った翌月の計画工程に対して各職種に調達制限数を与えて山崩し計算法を適用し、平滑化されたスケジュールを求める。

この説明からわかるように、スライド法は翌月計画工程の一部分に限って資源山積みの平滑化や作業日程の調整を行おうとするものであり、山崩し法は翌月計画工程の全期間にわたって資源山積みの平滑化を行うものである。したがって、翌月計画工程の更新処理と合わせて考えると、中づめ法を用いて更新処理を行った計画工程に対してはスライド法を適用して資源山積みの平滑化と作業日程の調整を行うのが実際的な見地から考えて望ましく、前づめ法で更新処理した計画工程に対しては山崩し法を適用して資源山積みの平滑化を行いさらにスライド法を適用して細部の作業日程の調整を行うのがよいであろう。もちろん、中づめ法と山崩し法との組合せでスケジュールすることも可能である。

いずれにしても、マン・ツー・マシンの方式によって、コンピュータで求めた各月のスケジュールを現場技術者自らが手直しして、より望ましくかつ合理的な実施工程計画を作成していく、ということが工事現場に設置した小型コンピュータの著しいメリットであるといえる。そして、本研究で提案している種々の工程管理手法は全体工程計画に示されている施工方針にもとづいて各月の工事管理目標を設定することにより、工事管理機能のトータル化を図ろうとするものである。

#### <sup>12)</sup> (4) 工程データの入力処理の方法

マン・ツー・マシンの方式によって各月の工程計画を作成し、工程管理を行っていく場合にもっとも重要なことは、工程データを容易にかつ正確に入力できることである。本研究においては、種々の理由によってプレシデンス型ネットワークを用いて全体工程計画および月間工程計画を作成している。このため、工程データは作業データと順序関係データに分けてファイルされている。すなわち、作業データファイルには、工程計画の作成に用いられた各作業の特性値とスケジュール計算の結果得られた各作業の日程データが格納されている。一方、順序関係データファイルには、先行作業番号と後続作業番号の対として順序関係データが格納されている。

さて、本研究における工事管理システムの機器構成は図－6.1に示したとおりであるが、データ入力装置としてはキーボードとデジタイザーを備えており、データ入力処理の方法としては次に示す方式が可能である。

- ① キーボード入力,
- ② ディスプレイメニュー・キーボード入力,
- ③ デジタイザーメニュー入力,
- ④ デジタイザーグラフ入力。

データの種別は一般に数値データ、項目データ、図形データに分類されるが、工程データの入力処理でもっとも問題となるのは項目データであるところの作業コード名称の入力である。本研究においては、この問題を後述の工事日報データ入力のためのメニューシートを利用することとして、次のような手順で工程データの入力処理を行うことがよいと考えた。

(処理－1)：キーボード入力で工程計画更新処理プログラムを呼び出す。

(処理－2)：デジタイザーメニュー方式で月末時点での完了作業名もしくは施工中作業名を入力し、残日数をキーボード入力する。中づめ法か前づめ法の選択をディスプレイメニューキーボード入力で行って、翌月工程計画のフォローアップを行う。中づめ法の場合には(処理－3)と同様の方法でリードタイムを入力してから行う。

(処理－3)：作業データを変更・修正する場合には、変更する作業名をデジタイザーメニュー方式で入力し、変更する所要日数、投入人数、作業歩掛をディスプレイメニュー・デジタイザー入力で処理する。次いで、作業の削除・挿入では該当する作業名をデジタイザーメニュー方式で入力し、挿入作業



の場合は必要な作業データをディスプレイメニュー・キーボード入力で処理する。

順序関係データの入力では、順序関係の削除と挿入を区別してそれぞれデジタイザーメニュー方式で入力処理する。

(処理-4)：資源山積みの平滑化や作業日程の調整にあたっては、スライド法か山崩し法の選択をキーボード入力で行う。スライド法では、該当する作業名をデジタイザーメニュー方式で入力し、変更後の作業開始月日をディスプレイメニュー・キーボード方式で入力する。山崩し法では、山崩し計算を行う職種名をディスプレイメニュー・キーボード方式で入力し、調達制限数をキーボード入力する。

以上の各処理の中で、処理対象となる作業が複数ある場合にはそれぞれの作業ごとに処理していく。こうした構成となる工程管理システムをフロー図としてとりまとめて示したものが図-6.8である。

#### 第4節 工事日報を利用した施工実績情報処理システムの設計事例<sup>13)</sup>

##### 1. 施工実績情報処理の課題

工事日報は、日々の施工活動の内容を各作業ごとに記録したものであり、作業員や機械・資材等の各種の工事用資源の投入実績を把握するための基礎データとして用いられてきた。しかしながら、工事日報に記されている内容や情報を詳細に分析することにより、単に投入資源の使用実績データの把握にとどまらず、工事の施工状況の分析や作業処理能力の評価、さらには工程管理や安全管理など工事管理に関する基礎資料を提供するものであることが明らかとなった。そこで、第5章において、大型コンピュータによる工事日報データの処理事例について

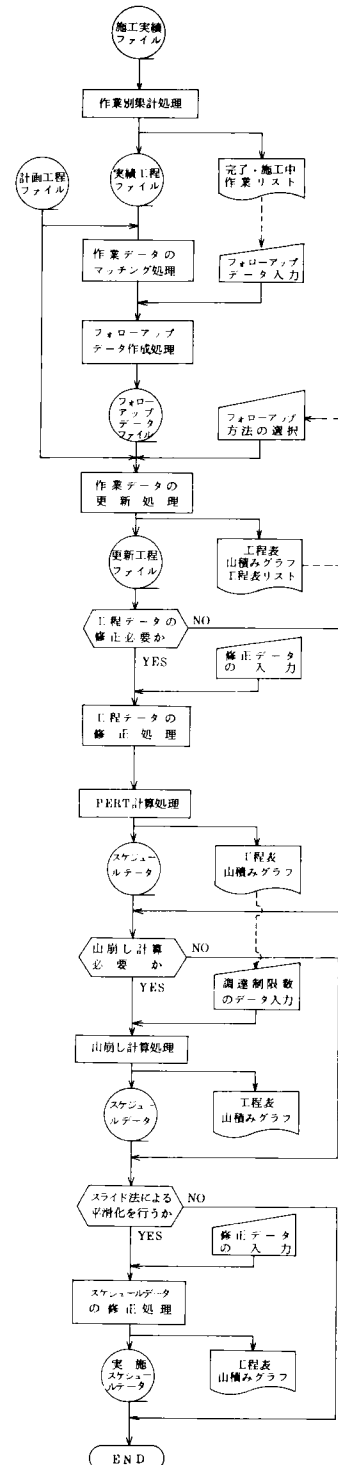


図-6.8 現場設置の小型コンピュータによる工程管理システムのフロー

て考察したのであるが、実際の工事への適用を通していくつかの問題点のあることが明らかとなった。  
すなわち、

- ① 工事管理業務の中での工事日報データの利用目的が十分には明確にされていないかった。
- ② 工事現場における管理業務処理の合理化や機械化をねらいとするものではなかった。
- ③ 大型コンピュータによる処理であるために、工事日報データを週報や月報に転記してそれをコンピュータに入力しなければならなかった。
- ④ 工事日報データの集計処理の即時性に欠け、データ処理と現場管理業務との間に時間的なズレが生じていた。

これらの課題に対しては、工事管理の合理化の観点からの工事日報データの利用目的の明確化と、そのための工事管理業務の機械化処理という観点からの工事日報データの処理システムの確立とによって、解決を図ることができる。工事管理における工事日報データの利用目的としては種々のもの<sup>14)</sup>が考えられるが、最近になって行われているシステム開発の代表的な事例を本研究のものも含めて一覧表にとりまとめたものが表-6.3である。これらの事例ではいずれも工事現場に設置した小型コンピュータを用いての工事日報データの機械化処理が共通のテーマとなっている。そして、本研究と他のシステム開発事例と相違するのは、

- ① 工程管理を組みこんだ工事管理のシステム化のために工事日報データを利用する。
- ② 大型コンピュータと小型コンピュータを有機的に結合させたデータ処理システムを構築する。

表-6.3 工事管理における工事日報データ処理システムの主要な事例

項 目 \ テー マ	工事日報方式による 工程管理システム	土工工事における施工 計画・管理のシステム化	作業所における 原価管理システム	施工実績の収集と蓄積	工事管理における 施工実績データ収集 システム
システム開発 のねらい	工程計画作成法のシステ ム化 現場における 工程管理のシステム化	機械土工の施工計画・ 管理システム化 工事データ(実績と現 場条件)収集の省力化	作業所原価管理業務(労 務・資材・機械)の省力 化、 日報・月報処理による目 標値・実績値の対比分析	定て工事の施工実績 情報の収集・蓄積と 探索システム	日常工事管理用 基本データの収集入 力、および工事実績 データのフィードバ ック
日報データの利用	作業実績(出庫、日数)の 集計工程進捗状況の把握 支払査定資料の作成	工種別・場所別の管理 (工程・原価)	日常の費用管理 月々の工事原価算出	歩掛実績・施工速度 実績等の工事経歴	工種別歩掛算定 出来高と資源消費量 の対比
コンピュータの機能	大型とマイコンの結合によ る機能分担処理	マイコンによるクローズシ ステム	マイコンによるクローズシ ステム	大型中心とする。	オフコンを中心とする。
システムの運用	作業打合せ→作業実施 →野帳記入→工事日報 作成の一貫として	土配計画・工程計画・機 械計画の再計画時のデー タ収集の一貫として	施工予定→作業打合せ→ 作業実施→出庫・出来高 把握の一貫として	情報検索システムの一 貫として掘進日報を用 いる	工事管理のサブシス テム予定資源量と実 績値の対比
前 処 理	工程上のアクティビティ と対応づけ、作業指示書 として用いる	工程上のアクティビティ と対応づけ、作業指示書 として用いる	施工予定・作業指示書 として用いる	掘進日報の利用	工事分類表コード 資源のコード化
入 力 方 法	デジタイザメニュー・入カ 部キーボード入力	ディスプレイメニュー キーボード入力	キーボード入力 マウス・カード入力とも互換	ディスプレイメニュー キーボード入力	メニュー・ボード入力 ディスプレイで確認
入力データの収集	工事日報	工事作業日報	工事日報 入庫伝票	掘進日報	データシート形式の 工事作業日報
工事日報の運用	・工事日報データを入力 ・工程実績の把握とフオ ロ・アップ ・支払査定資料	・作業指示書の変更部分 ・施工実績を入力 ・標準値との対比分析 ・出来高	・同左および伝票の入力 ・支払金の予算対比 ・支払と出来高の対比		・前掛データの把握 ・支払と出来高の対比

という点である。こうした観点に立って工事管理システムを構築していくことの理由と合理性についてはこれまでの研究を通して明らかにしてきたとおりである。

以下では、工事管理のための施工実績情報処理システムについて事例を中心として考察することとする。

## 2. 工事日報内容のデータ化の方法

どの工事現場においても、各週の作業スケジュールにしたがって作業指示書を作成し、それにもとづいて日々の作業が実施されることになる。そして、日々の施工作業の実施内容を野帳等に記録し職長もしくは作業長から提出される就労日報の内容をチェックして当日実施した作業内容として工事日報にその実績値を記入することになる。工事日報が作成されるまでをフローにとりまとめると図-6.9のようである。

このようにして作成される工事日報の様式は工事現場によって種々のものが考えられているが、記録される内容は大方が次のような項目となっている。

① 年月日、② 天候、③ 契約区分、④ 施工業者、⑤ 職種、⑥ 投入人数（投入台数）、⑦ 作業時間、⑧ 記事（場所、箇所、作業内容、作業量等）。

などの各欄が設けられている。記事欄の記入事項は一般には明確に規定されていない。このために、工事日報データの分類や分析は③～⑦の項目に関してのものに限られ、工事管理における工事日報データの利用は各工種、各職種の投入人数や作業時間など労務実績資料の作成などに限定されるものでしかなかった。本研究においては、上記の各欄の中で記事欄の内容が工事の施工内容を記述する欄であることに注目して、次のような基準のもとに記事欄の内容を分類することとした。すなわち、工事日報データを工事管理のための実績データとして利用するために、工程計画作成に用いた工程ネットワークデータと対比できるように次の5項目に分けてデータ化することとした。

- ⑨ 施工ブロック（施工場所）、
- ⑩ 構造物部位（作業箇所）、
- ⑪ 工種、
- ⑫ 作業（工種の作業内容を本作業、補助的作業、その他作業に区分したもの。図-5.7 参照）、
- ⑬ 種別（使用資機材の種類、規格、施工条件等）。

これらの項目の中で、項目⑬は工事日報データを工事費予算と対比が可能なように仕訳するための

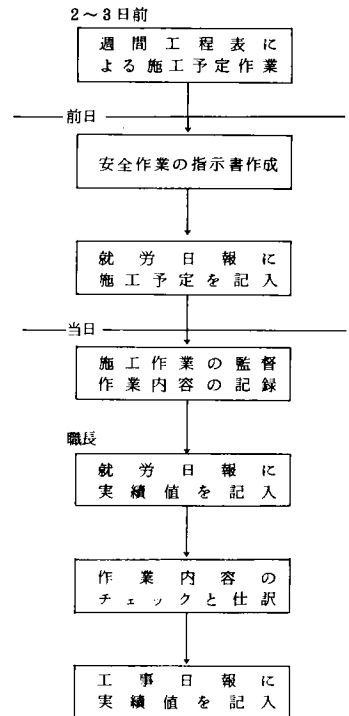


図-6.9 工事日報が作成されるまでの処理フロー

表-6.4 工事日報データのファイル構成

内 容	係	年	月	日	曜 日	天 候		契約 区分	業 者	職 種	人 数	作 時 間 業 帯		動 時 務 間		
						午 前	午 後					開 始	終 了	時間内	残 業	深 夜
						A(5)	A(6)					A(11)	A(12)	A(13)	A(14)	A(15)
変 数 名	A(0)	A(1)	A(2)	A(3)	A(4)	A(5)	A(6)	A(7)	A(8)	A(9)	A(10)	A(11)	A(12)	A(13)	A(14)	A(15)
バイト数	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

内 容	ブ ロ ッ ク	部 位	工 種	作 業 別	種 別	作 業 量	完 了 マ ー ク	機 械 機 種	台 数	稼 時 間 働 帯		稼 時 間 働 間		
										開 始	終 了	時間内	残 業	深 夜
										A(25)	A(26)	A(27)	A(28)	A(29)
変 数 名	A(16)	A(17)	A(18)	A(19)	A(20)	A(21)	A(22)	A(23)	A(24)	A(25)	A(26)	A(27)	A(28)	A(29)
バイト数	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

もので、工程実績データの作成には直接的には関係しない。

工事日報データの内容を上述のように分類することにより、工事日報データのファイル構成を表-6.4のように定めた。ただし、工事日報係、年月日、曜日、天候は工事日報データの入力処理の最初に入力することとし、その他のデータは各作業ごとに入力するものとした。また、作業時間帯から勤務時間を求めるのはプログラム内部での処理とした。

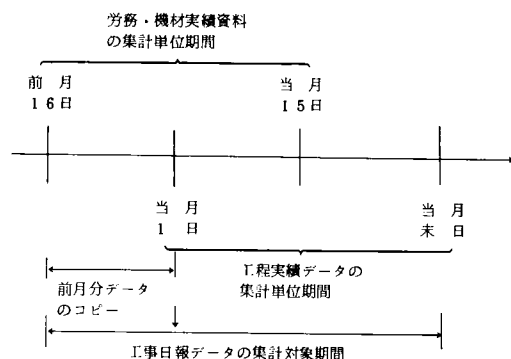


図-6.10 工事日報データの集計対象期間

データエリアの検討にあたっては、1日平均30作業、1ヶ月最大31日とし、また、労務・機材実績資料の集計単位期間と工程実績データの集計単位期間との両者を満足させるために1ヶ月半の工事日報データをストックするものと考えた。これは、図-6.10に示すように、労務・機材実績資料の集計期間が前月16日から当月15日までであり、工程実績データの集計期間は当月初めから終りまでであるのが普通であるためである。このとき、データエリアとしては162,000バイトが必要であるのに対して、ミニフロッピーディスク（外部記憶装置）のデータエリアは345,000バイトであり、実績データのソーティングのためのワークファイルを必要とするにしても十分に必要データ量を格納できることが判明した。

### 3. デジタイザーを利用した工事日報データの<sup>15)</sup>入力処理

工事日報データの中で、数値データとして与えられるのは年月日、投入人数、作業時間、作業数量など1部分であり、そのほとんどは記述データである。したがって、これらの記述データを誤りなく

かつ迅速に入力する方法を考案することは施工実績情報処理システムの設計の成否を左右するといっても過言ではない。これは、工事管理システムや施工実績情報処理システムを利用し操作するのは日常業務としてコンピュータ等の精密な機器に接触することのない現場技術者であり、日常業務で用いられる用語とデータ入力処理で扱う記述データの内容との対応が一見して識別できるものでなければならぬからである。

記述データの入力装置としては、表－ 6.1 に示したように、多項目入力装置（ベルト式、ページ式、スライド式）、マークカードリーダー、キャラクタディスプレイ（ライトペン式）、キーボード、座標読取り装置（デジタイザー）など種々のものがある。これらはそれぞれに特長があるが、本研究ではデジタイザーメニュー方式による工事日報データ処理システムを開発することとした。これは、次の諸点を考慮したことによるものである。

- ① 工事計画・管理や工程計画・管理においては、設計図をはじめとして施工計画図や工程表などの図形データを処理することが多い。
- ② 施工実績データの入力項目の配列やスケールが任意に設定できて、相当数の多項目でも 1 枚のメニューシートに納めることができる。
- ③ データ処理システムのコントロールをソフトウェアプログラムを用いて行う場合、同じメニュー

シート上にコントロール部分のエリアを設定すればよい。

図－ 6.1 1 は、地下鉄構築工事における工事日報データの入力用メニューシートである。このメニューシートはデータ入力部とコントロール部とから成っていて、データ入力部に地下鉄構築工事における作業内容の記述に必要な項目が所定の分類と入力手順にしたがって配列されている。また、コントロール部には数値入力部分、入力処理コントロール部分、入力データの訂

契約区分	職 種	機 種	ブロック	部 位	工 種	作 業	種 別
構 造	鉄 筋 工	2 t	1	基 礎	鉄 筋 工	区分 1	モルタル
	常 備	鉄 筋 工	2	ベ ー ス	組 立	区分 2	スプレイション
		圧 入 工	3	中 床 ケ タ	中 柱 ・ 中 カ ベ	圧 入	区分 3
装 飾	大 工	10 t	4	中 床 間 口 部	中 床 ケ ス ラ ブ	型 枠 支 保 工	置 部
	ト ビ 工	5 t	5	中 床 保 護 部	中 床 調 整 柱	撤 去	
	北 橋 組	カ ジ 工	6	ア ラ ス ト ム 柱	プ ラ ス ト ホ ム	型 枠 工	運 搬
	藤 井 組	土 工	7	上 床 柱 ・ 中 カ ベ	撤 去	段 取 り	
	東 垂 任 組	新 リ 工	8	上 床 間 口 部	コ ン ク リ ー ト 打 設	露 出 し	
	木 向 組	塗 装 工	9	上 床 保 護 部	養生	足 場 組	
	上 田 組	防 水 工	10	5 段 梁	4 段 梁	調 整 柱 工	足 場 撤 去
	大 阪 防 水	左 官	11	3 段 梁	2 段 梁	塗 装	水 洗 い
	溝 間 通 送	電 工	12	1 段 梁	切 梁 跡	防 水 工	チ ッ ピ ン グ
	保 安 工 業	ガードマン	13	階 段 部	排 水 部	養生	台 直 し
成 松 組			中 間 杭	土 留 め 杭	盛 留 工	仕 上 げ	
井 関 塗 装			仮 設 通 路	その 他	架 設 工	ケ レ ン	
堀 本 電 気			埋 設 物	防 護 部	撤 去 工	ド ラ イ	
近 畿 電 気					配 管 工	モ ル タ ル	
南 大 阪 電 機					埋 戻 工	アンカー取付	
香山建設					雑 工	置 込 め	
						片 付	

7	8	9	—	NEXT	完 了	転 送	コ ピ ー	訂 正				終 了
4	5	6						契約区分	作業時間	作 業		
1	2	3	訂					職 種	ブ ロ ッ ク	種 別		
0	.	正						機 種	部 位	作 業 量		

図－ 6.11 地下鉄構築工事における工事日報データ入力用のメニューシート

正処理部分が誰でも判読できる漢字混りかな文字表記で示されている。

このデジタイザメニュー方式による方法では、図-6.12に示すような手順で工事日報データを入力する。この中で、引数値は次のようにして求められる。いま、メニューシートをデジタイザ上にセットしたとき、左上隅の座標を $(x_0, y_0)$ 、右下隅の座標を $(x_1, y_1)$ とし、 $x$ 方向の単位長さを $U_x$ 、項目数を $n$ 、 $y$ 方向の単位長さを $U_y$ 、項目数を $m$ とすると、

$$U_x = (x_1 - x_0) / n, U_y = (y_1 - y_0) / m。$$

スタイラスペンで押えた点の座標を $(X, Y)$ として、その点の $x$ 方向の区画番号を $N$ 、 $y$ 方向の区画番号を $M$ とすると、

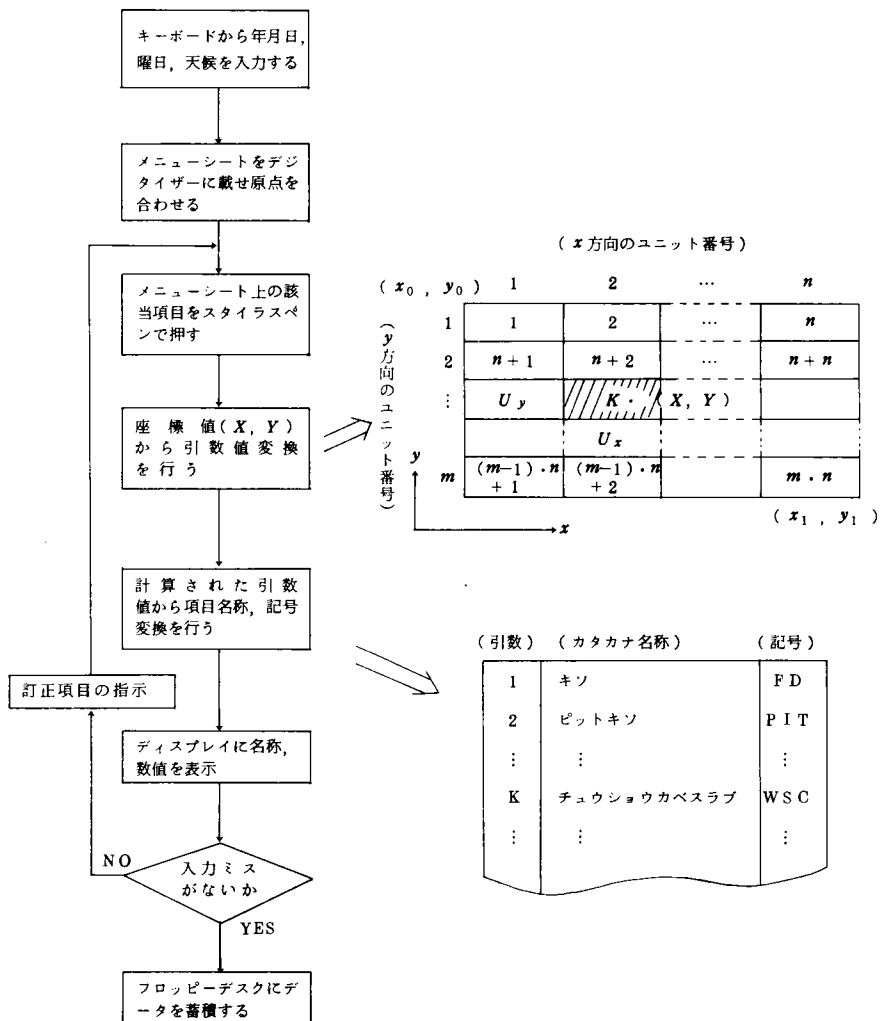


図-6.12 デジタイザメニュー方式による工事日報データの入力、手順

$$N = [(X - x_0) / U_x] + 1$$

$$M = [(y_0 - Y) / U_y] + 1$$

となり、引数値 $K$ は次式で与えられる。

$$K = (M - 1) \times n + N$$

引数値 $K$ が求められると、引数・カタカナ名称・記号変換テーブルより該当の名称を索引してディスプレイ上に表示して、正しく入力されていれば次のデータの入力処理に移ることになる。写真-6.5はデジタイザ上のメニューシートの該当項目をスタイラスペンで押えて、工事日報データを入力しようとしているところである。

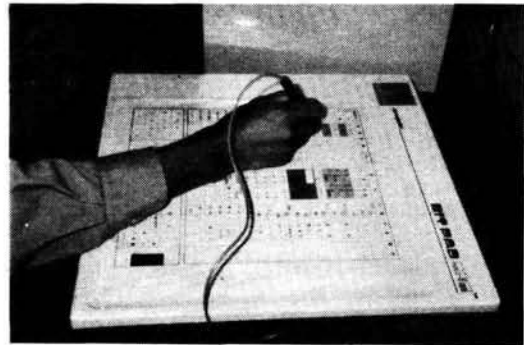


写真-6.5 デジタイザーメニュー方式による工事日報データの入力状況

表-6.5 工事日報データ入力手順

項目	媒体	デジタイザ メニューシート	
	コンピュータ キーボード	項目キー	テンキー
年, 月, 日	①		
曜 日	②		
天 候	③		
契 約 区 分		④	
業 者		⑤	
職 種 or 機 種		⑥	
人 数 or 台 数			⑦
作 業 時 間 帯			⑧
ブ ロ ッ ク		⑨	
部 位		⑩	
工 種		⑪	
作 業		⑫	
種 別		⑬	
作 業 量			⑭
完 了 マ ー ク		⑮	
1作業分入力終了		⑯(“転送”キー)	

入力作業数分くり返し

#### 4. 施工実績情報処理 システムの運用方法

##### 4.1 工事日報データの集計

施工実績情報処理システムは大別して次の2つのサブシステムからなっている。

##### ① 工事日報データ入力処理

サブシステム。

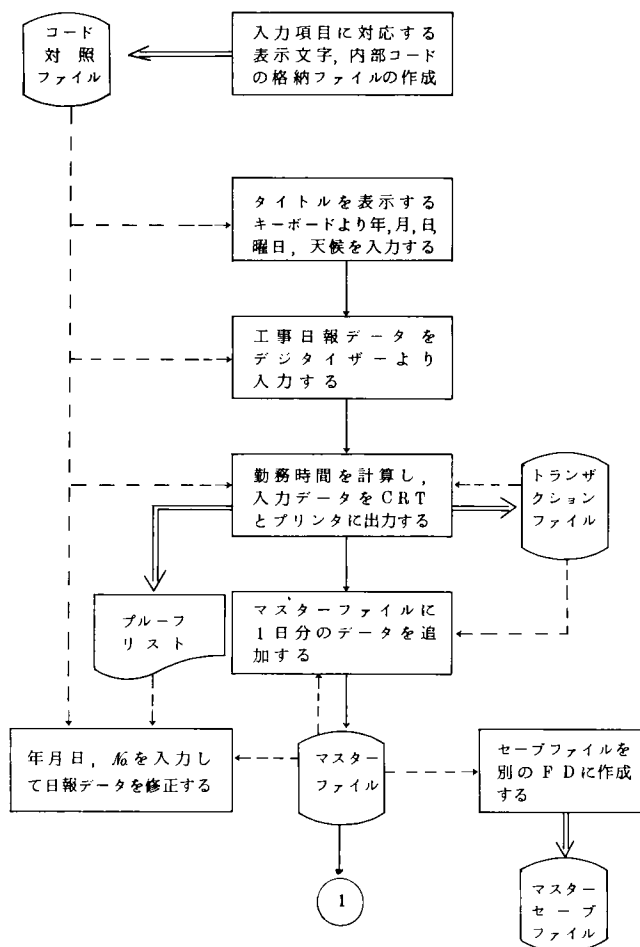
##### ② 施工実績データ集計処理

サブシステム。

①の工事日報データ入力処理サブシステムは、その日に実施した工事内容を工事日報データとして記録するために用いられるものであるから、現場技術者が容易にかつ確実に入力することができるように設計されていなければならない。そのために、本研究では、表-6.5のようなデータ

- 1) テンキーの終りおよび入力を省略する場合は“NEXT”キー。
- 2) データを訂正する場合は「訂正」の該当項目を押して、新たなデータを入力。
- 3) 1日分の入力が終了の場合は“終了”キー。

入力手順によることとしている。  
すなわち、最初に年月日、曜日、  
天候をキーボードを用いて入力  
したあとは、工事日報に記され  
ている各作業のデータ入力と入  
力コントロールはすべてデジタイ  
ザー上のメニューシートを用  
いて行うものである。その場合、  
ある項目データの入力を省略す  
ることや、すぐ前の作業データ  
をそのままコピーして一部の項  
目データを変えることもできる  
ようにして、実務上の使い易さ  
を配慮した設計としている。  
デジタイザーメニューを用いて  
のデータ入力は手書きの速さと  
変わらないぐらいの速さで処理  
することができ、コンピュータに  
不慣れな現場技術者でも取り扱  
いやすくなっている。図- 6.1 3



は工事日報データの入力処理の

図- 6.13 工事日報データの入力処理フロー

フローを示したものである。工事日報の記入様式は図- 6.1 4 のようであるが、それを工事日報データ入力処理サブシステムを用いて作成したブルーリストの 1 例を示すと図- 6.1 5 のようである。この内容が正しく入力されていることをチェックしたのち、マスターファイルに格納することになる。

工事日報データは、1 つのフロッピーディスク ( 350 キロバイト ) に前月 16 日から当月末日までの 1 ヶ月半にわたるデータ量が格納されている。それらのデータの中から必要な期間のデータを取り出し、利用目的にしたがってデータ検索やソーティングのキーとなる項目を指定することにより、所定の様式に編集してアウトプットデータを出力することになる。図- 6.1 6 は、そのような施工実績データの集計処理の手順を示したものである。支払管理のための実績資料を出力する場合には、そのプログラムを指定し、ソートキーを契約区分、業者、職種をキーとして選定することにより行うことができる。

工事日報データによる実績工程表の作成方法については次項で詳述することとする。



昭和56年4月10日(月曜日)				天候	(注) 残業時間は22時までは25%増22時以後は50%増で換算する。			
区分	工種	工数	残業時間	換算工数	記事			
種別					場所	個所	作業内容	作業量
代	工	1			26.10		橋梁取付	
	"	1			26.4		裏コンクリ	
	"	4			26.10		柱筋定場	
	"	6			26.6		重荷取付	
	"	5					橋内片付	
保文	セ脱役	1						
	鉄筋	1			26.10		腹筋材撤去	5本
	"	1			26.4		橋梁用F72取付	
保井	セ脱役	1						
	鉄筋工	5			26.4		中床鉄筋組	
	"	5			26.11		"	
	"	4			26.5		床壁筋組	

図-6.14 地下鉄工事の工事日報記入例

***** (138)	1981 年	4 月	13 日	(金曜日)	天候	コンクリートモリ
NO. 10						コンクリートモリ
(1) カンパツ	:	0.00				
(2) カンパツ	:	0.00				
(3) カンパツ	:	0.00				
(4) カンパツ	:	0.00				
(5) カンパツ	:	0.00				
(6) カンパツ	:	0.00				
(7) カンパツ	:	0.00				
(8) カンパツ	:	0.00				
(9) カンパツ	:	0.00				
(10) カンパツ	:	0.00				
(11) カンパツ	:	0.00				
(12) カンパツ	:	0.00				

図-6.15 工事日報にもとづいて入力した作業データのブルーリスト

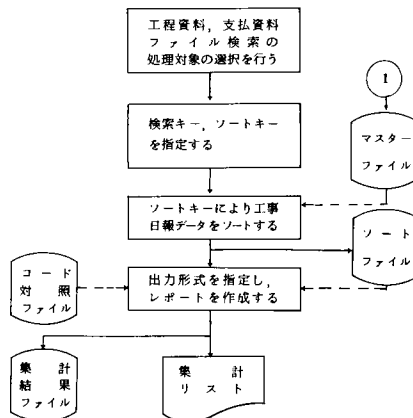


図-6.16 施工実績データの集計処理フロー



表ー 6.7 実績工程表作成のための完了作業リスト

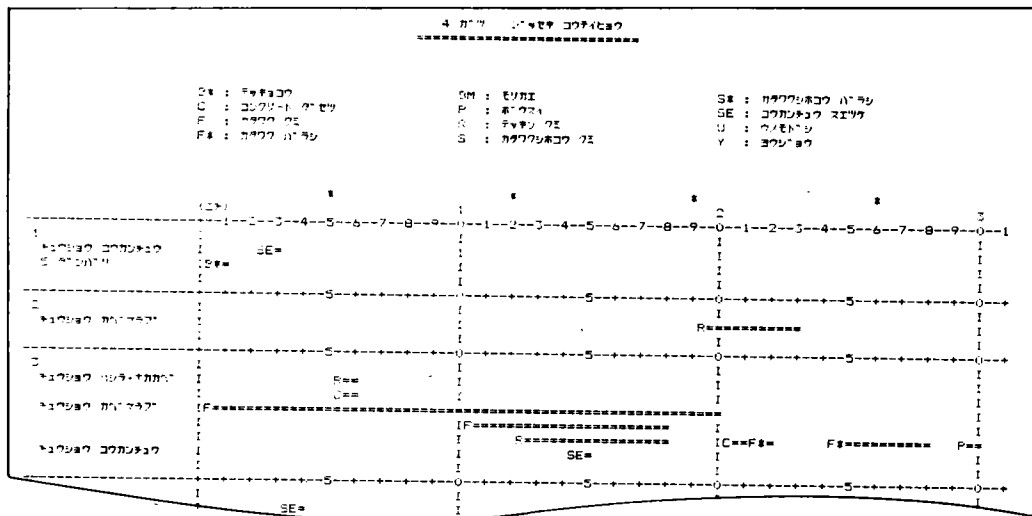
***** カ ン リ ョ ウ サ ツ ン ウ リ ス ト *****										
11 BL	チュウシヨウ カハースラフ	カダツク フミ		B1- 4- 1	→	B1- 4-21	( 7)ニチ	:	( 525.0 m2 )	
	ヤオカクニ	ダイク	7 ニチ :	62.5 ニン/ニチ		8.9 ニン/ニチ	:	8.40 m2 /ニン	0.12 ニン/m2	
11 BL	チュウシヨウ カハースラフ	カダツク フミ		8 フツン-3	B1- 4-10	→	B1- 4-13	( 3)ニチ	:	( 220.0 m2 )
	ヤオカクニ	ダイク	3 ニチ :	16.0 ニン/ニチ		5.3 ニン/ニチ	:	13.75 m2 /ニン	0.07 ニン/m2	
11 BL	チュウシヨウ カハースラフ	チャキン フミ		B1- 4-13	→	B1- 4-17	( 4)ニチ	:	( 22.0 ton )	
	フシイグニ	チャキンコフ	4 ニチ :	22.0 ニン/ニチ		5.5 ニン/ニチ	:	1.00 ton /ニン	1.00 ニン/ton	
11 BL	チュウシヨウ カハースラフ	コンクリート ダンセツ		B1- 4-24	→	B1- 4-24	( 1)ニチ	:	( 450.0 m3 )	
	ヤダクメクニ	トコフ	1 ニチ :	14.0 ニン/ニチ		14.0 ニン/ニチ	:	32.14 m3 /ニン	0.03 ニン/m3	
11 BL	チュウシヨウ カハースラフ	カダツク ハーラシ		8 フツン-3	B1- 4-29	→	B1- 4-29	( 1)ニチ	:	( 220.0 m2 )
	ヤオカクニ	ダイク	1 ニチ :	8.0 ニン/ニチ		8.0 ニン/ニチ	:	27.50 m2 /ニン	0.04 ニン/m2	

のみを取り出して作成した完了作業リストである。このリストも、やはり、施工ブロック、構造物部位、工種、作業の順に名称を記して、作業開始日、作業完了日、所要日数、施工数量、業者、職種、延人工数、1日平均人工数、1日平均処理数量、単位施工数量当りの所要人工数の各作業特性値が示されている。

実績工程表は完了作業リストをもとに作成するのであるが、完了作業すべてをプロットとすると、図ー 5.1 8に示したように計画工程表との対比が困難なほどに煩雑なものになってしまう。そこで、完了作業リストの中で、施工ブロック番号の付いている直接的な構築作業の中から作業レベルの実績データを除外して、簡潔で見易い実績工程表を作成することにした。これは、実績工程表と計画工程表との対比にあたっては型枠支保工、型枠工、鉄筋工、コンクリート工、防水工などの主要な工種の作業に注目して比較することが多いからである。

実績工程表に要求される機能は、当月に実施した作業がどの施工ブロックのどの構造物部位の部分であるかが一見してわかり、計画工程表との対比によって各施工ブロックの進行状況と工事全体の進捗状況を評価することである。図ー 6.1 7は、こうした考え方のもとに、小型コンピュータに備えつけのプリンターを用いて作成した実績工程表の一例である。実績工程表は、作業内容の記号参照表を添え1日を3カラムで表し休日マークを付すことについては計画工程表と同じであるが、施工ブロックと構造物部位を見出しとして示し、作業開始日のところに作業記号を付していること、作業休止日も含めて作業開始日から作業完了日までを破線で表している点が計画工程表とは異なっている。工程表による計画と実績の対比は概略の程度でも十分に役立つと考えるからである。

このような方法で作成される実績工程表に対して、各種資源の山積み図の作成は工種レベルの作業



図－6.17 工事日報データより作成した実績工程表の1例

つまり、構造物の構築作業に直接的に関わった作業人数の山積み図を求める場合と、当月に行ったすべての作業、つまり、当月末時点での施工中作業や構築工事の作業レベルの作業やその他の雑作業をも含めたすべての作業に投入された作業人数の山積み図を求める場合とがある。それぞれの山積み図は利用する目的が異なるが、いずれも工事日報データから作成できることは明らかである。

以上は、工事日報データを用いての実績工程表の作成に関するものであるが、工程管理を行っていくにはその他にもいくつかの種類の施工実績データが必要である。それは主として計画値と実績値の有意な差異に関するものであり、その主な項目をあげるとつぎのようである。

- ① フォローアップ時点における工程計画の進捗状況、
- ② 作業所要日数、
- ③ 作業処理能力（作業歩掛）、
- ④ 作業投入人数（作業グループの構成数）、
- ⑤ 職種別作業グループ（班）の運用順序。

これらの中で、①については実績工程表における完了作業が計画工程表の中のどの作業に該当するか、そしてフォローアップ時点での施工中作業の所要残日数が何日であるかを評価することが必要となる。②～④は工程ネットワーク上の各作業の作業特性値についてのものである。各作業の所要日数については、作業の開始日から終了日までの日数と正味日数の差およびその理由を知ることが必要である。また、仮設資材の拘束日数についても調べる必要がある。作業所要日数の見積りはこれらの分析に加えて作業処理能力の習熟傾向の把握と作業グループ（班）の構成数の編成および投入可能作業人数を考慮する必要がある。⑤の職種別作業グループ（班）の運用順序については計画工程表に示さ

- i) 計画工程表の運用順序に従わせる,
- ii) 実際の運用順序に合わせて工程計画を変更する,
- iii) 仮設資材の運用順序の変更など他の計画要素の変更方針に従わせる,

などの検討が必要となろう。

表-6.8 工事日報データにもとづく労務実績リストの作成事例

— 267 —

## 第5節 地下鉄駅部工事におけるシステムの実効性の検証<sup>17), 18)</sup>

### 1. 適用工事の概要および工事管理上の課題

本研究において明らかにしてきた工事管理システムの適用対象として取り上げた地下鉄工事は大阪市東部に位置し、東大阪特有の軟弱地盤帯である河内盆地の中央部にある。当工事の工区は掘削土の大半を占める沖積粘土層が $N$ 値0の非常に鋭敏かつ軟弱な高含水比粘土であり、このためにこの軟弱粘土層を改良して強度を増加させ機械掘削を可能にすることは当現場の大きい課題であった。また、当工事は、第3章の図-3.26に示したように、上部に高速道路高架橋のピア基礎を上載する構造となっているために、工事全体の工期は後続の高架橋工事の強い制約を受けていた。こうしたことから、工期の大半を占め主要工種でもある掘削工事と構築工事の工事計画・管理上の課題に対して工程計画・管理を中心とする以下の項目について本研究で提案してきた種々の方法を適用することとなった。

- i) シミュレーションモデルによる掘削工程計画の検討
- ii) プレシーデンス型ネットワークモデルによる構築工事の工程計画の作成
  - ① 総括工程計画の作成,
  - ② 工事着工当初における詳細工程計画の作成,
  - ③ 掘削工事着手時における詳細工程計画の検討。
- iii) 全体工程計画のフォローアップ
  - ① 第1回: 型枠支保工転用順序の検討,
  - ② 第2回: 全体工程計画の工期短縮方法の検討。
- iv) 現場設置の小型コンピュータによる工程管理の実効性の検証
  - ① 大型コンピュータによるデットライン工程表の作成と工程データの伝送,
  - ② 昭和57年4月における計画工程表と実績工程表の作成,
  - ③ 昭和57年5月における工程分析,
  - ④ 昭和57年6月における工程計画のフォローアップ処理。

以上の適用課題の中で、i)～iii)の課題については前章までの各章で述べているので、本研究では、とくに、iv)の工程管理システムの適用事例について考察することとする。

### 2. 昭和56年4月から同年7月までのデットライン工程表の作成

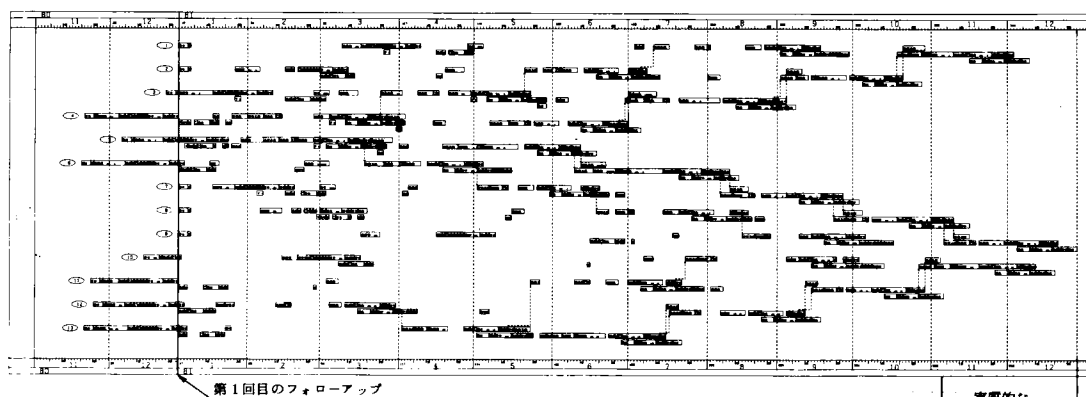
#### 2.1 全体工程計画の確立とフォローアップ処理

当工事では、これまでも述べてきたように、工事着工当初と掘削工事着手時の2回にわたって詳細工程計画の検討を行って実施工程計画を確立した。その結果はプロッターを用いて工程表に表してそのコピーを現場技術者に配布し工程計画の方針を作業員のレベルにまで周知徹底させることにした。

そして、全体工程計画は構築工事着手後2度にわたりフォローアップを行った。このことについては前章第3節において詳述したとおりであるが、本研究との関係を明らかにするために、図-6.18を用いて要約して述べることにする。すなわち、図-6.18(a)に示すように、第1回目のフォローアップによって掘削工事および隣接工区の影響を吸収し構築工事における詳細工程計画レベルの実施スケジュールが確立されることとなった。

しかし、昭和56年3月になって、地下鉄工事に後続する高速道路工事の影響のために埋戻し工をも含めて11月末に工事を完了するように工期が変更された。これは、実質的に2ヶ月間の工程短縮を必要とするところから、コンクリート打設日を中心として作成した実績工程表をもとに全体工程計画を更新し、それについて種々の工程改善案を出して検討を行った。その結果、型枠支保工の投入セット数を3セット増加し、壁鉄筋組み作業をクリティカルパス上から外し、さらに、鉄筋組立てと型

(a) 昭和55年12月末日におけるフォローアップ(第1回)



(b) 昭和56年3月末日におけるフォローアップ(第2回)

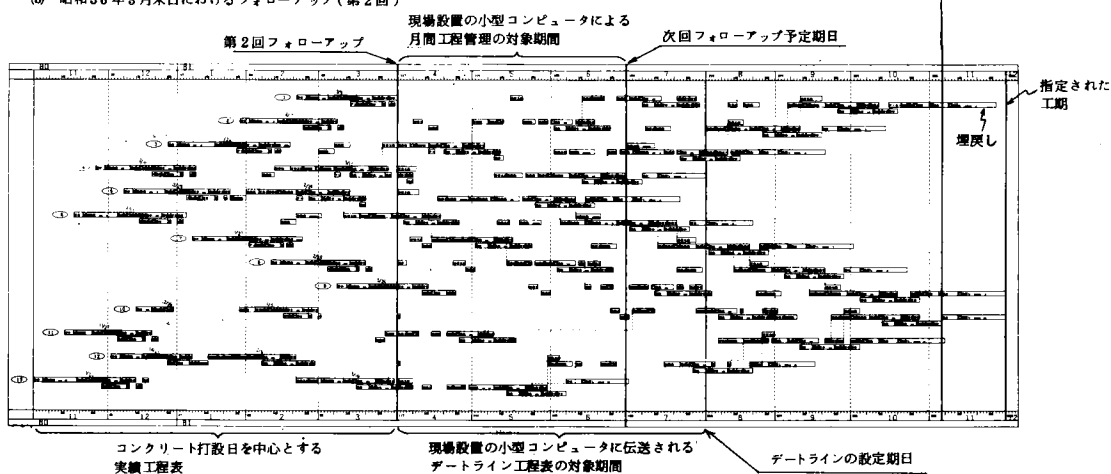


図-6.18 詳細工程計画レベルによる実施工程計画のフォローアップ

枠組立ての所要日数を20%短縮することで所期の目的を達成することがわかった。図-6.18(b)は、そのようにして確立された全体工程計画を示したものである。工事現場においては、この更改工程計画にしたがって工事を進めていくこととなったので、現場設置の小型コンピュータによる工程管理を実施することとした。

## 2.2 現場における工事管理のためのデートライン工程表の作成

さて、このような処理を通して確立されていった実施工程計画に対して、本研究で明らかにした現場に設置する小型コンピュータを利用した工事管理システムの実効性を検証するために、昭和56年4月～7月の4ヶ月間をモデルとして取り上げることにした。

工事現場においては昭和56年4月から6月までの3ヶ月間を現場に設置した小型コンピュータを用いて工程管理を行うことにした。そのために、工程の進捗状況の遅速を考慮して昭和56年7月末日にデートラインを設定して4月～7月の4ヶ月間のデートライン工程表を作成することとした。図-6.19(a)は昭和56年4月～7月のデートライン工程表を大型コンピュータのプロッターを用いて作図したものであり、図-6.19(b)はそれと対応する主要職種の資源山積み図である。デートライン工程表は元の全体工程表の対応する部分の工程をそのまま切り取った形になっているが、デートラインの右側に記されている各工程経路の所要残日数の表示に特長がある。この指標を用いて工事管理を有効に行うことができる前章で述べたとおりである。

工事現場に設置した小型コンピュータには図-6.19に示したデートライン工程表の工程データが作業データと順序関係データとに分けて伝送されることになる。大型コンピュータは大阪市内の本社に設置されていて4ヶ月分の工程データを電話公衆回線を通して送信したが、その所要時間は約1時間であった。

## 3. 昭和57年4月における計画工程と実績工程の対比

工事現場の小型コンピュータに伝送されてきた工程データは3月末日時点でフォローアップされたものであり、その中の4月分の工程データにもとづいて作成した計画工程表は4月の実施工程表を表すことになる。

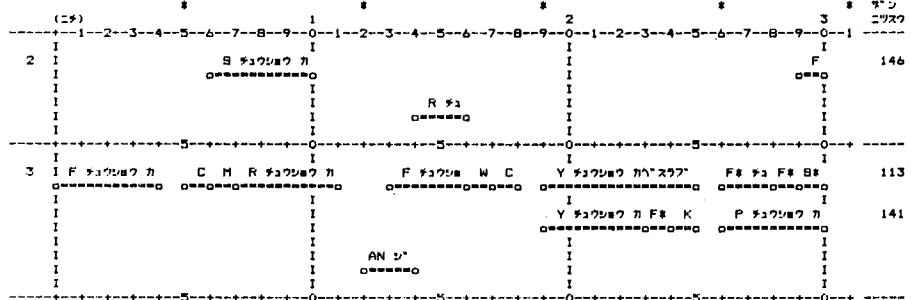
一方、工事現場で毎日記入されている工事日報データはデジタイザーメニューによって現場の小型コンピュータに入力され、それをもとに4月の実績工程表が作成される。図-6.20はそのようにして作成した4月の計画工程表と実績工程表の1部分を対比したものであり、図-6.21は鉄筋工の計画山積み図と実績山積み図を対比したものである。工事全体にわたる分析によって、4月の工程進捗状況は次のようであることがわかった。すなわち、予定どおり進行した施工ブロックは3, 4, 7, 8, 11, 13の各施工ブロックであり、5, 6, 9および10の各施工ブロックは計画工程表に示さ





R : チャレン クス	TA : チャレン アタシ	S : カザワシロコフ クス	SB : カザワシロコフ ハン
F : カザワ クス	F : カザワ ハン	C : コンクリート チャレン	Y : コンクリート チャレン
SE : コウカンチュウ スエツ	P : チャレン	Y : チャレン	BM : チャレン
B : カザワ	BB : チャレン	HA : ハン	U : ウメトシ
ZA : チャレン			
UN : ウンハン	JU : チャレン	M : チャレン	A : チャレン
AN : アン	W : チャレン	T : チャレン	DA : チャレン
	K : チャレン		

(a) 4月計画工程表



(b) 4月実績工程表

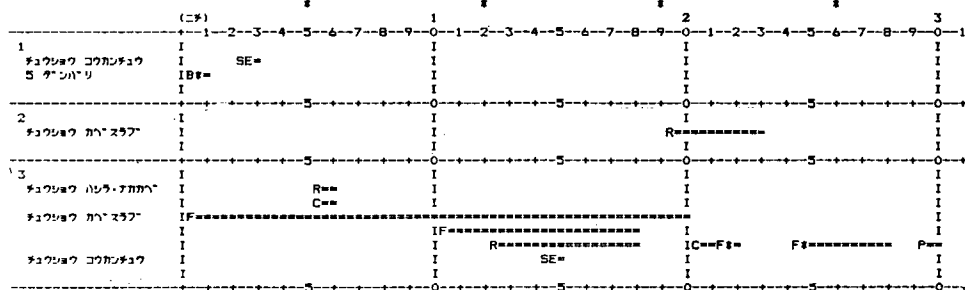


図-6.20 4月における計画工程表と実績工程表の対比

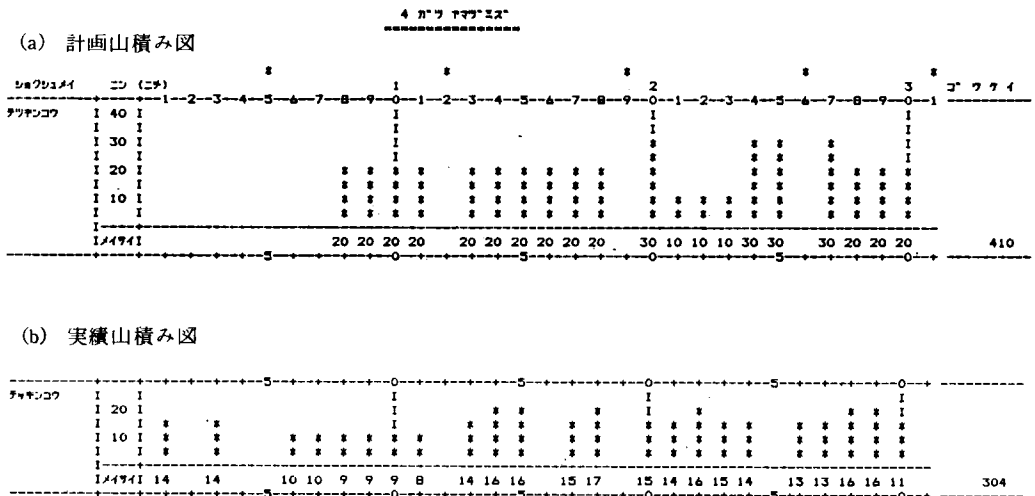


図-6.21 4月における計画山積み図と実績山積み図の対比

れている以上の進行をしていることが判明した。そして、2ブロックは予定よりも5日の遅れを示していたが、全体的には、予定どおりの進行かもしくはそれ以上の進行を示していることがわかった。

#### 4. 昭和56年5月の月間工程計画の更新処理

4月末日時点における計画工程表と実績工程表の対比にもとづいて、5月計画工程表の更新処理を行った。計画工程表の更新方法としては、すでに述べたように、

a. 全体工程計画のスケジュールに従わせるように更新処理を行う「中づめ法」、

b. 月々の工事の進行に合わせて更新処理を行う「前づめ法」、

の2方法を明らかにしたが、ここでは、これら2つの方法について比較検討することとした。

図-6.2.2は中づめ法による5月計画工程表の山積み図を出力したものであり、図-6.2.3は前づめ法による5月計画工程表の山積み図を出力したものである。これらの2つの山積み図を比較してみると両者の相違がよくわかる。すなわち、前づめ法では、作業スケジュールを最早開始時刻で与えているので、全体工程計画で設定したスケジュールや各種資源の調達制限数の制約を無視したスケジュールとなっている。このために、資源調達数の制限を満足するスケジュールを求めようとすると、山崩し法を併用しなければならないことになる。ただし、各種資源の使用状況からいえば、遊休状態の少ないスケジュールであるといえる。一方、中づめ法では、早期の作業着手が可能な場合でも、資源運

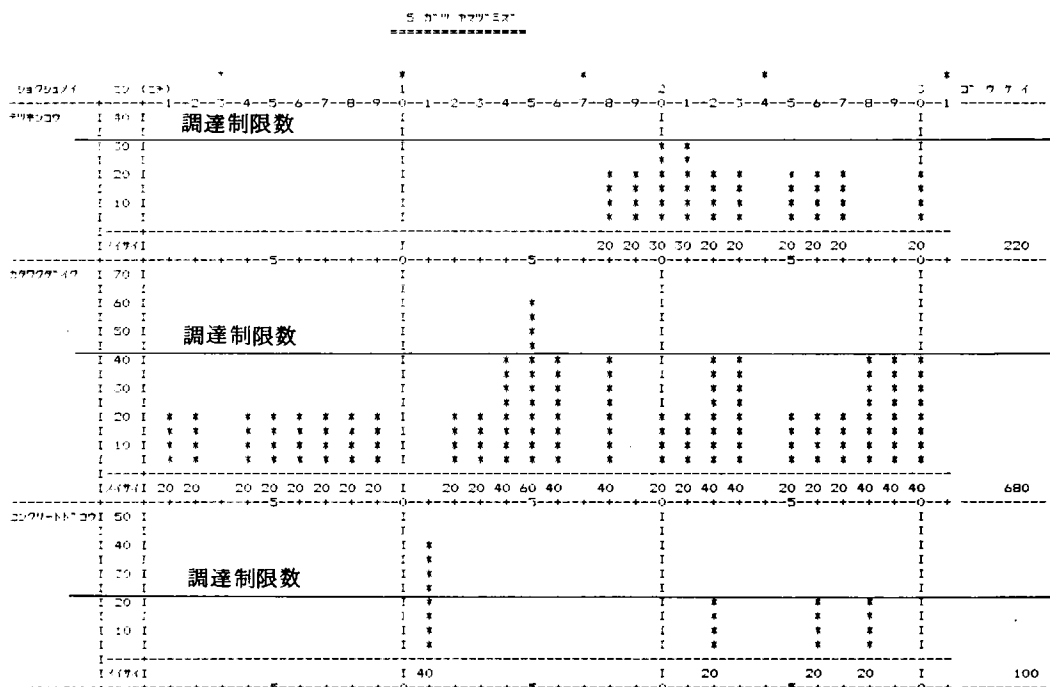


図-6.22 中づめ法による5月計画工程表の山積み図

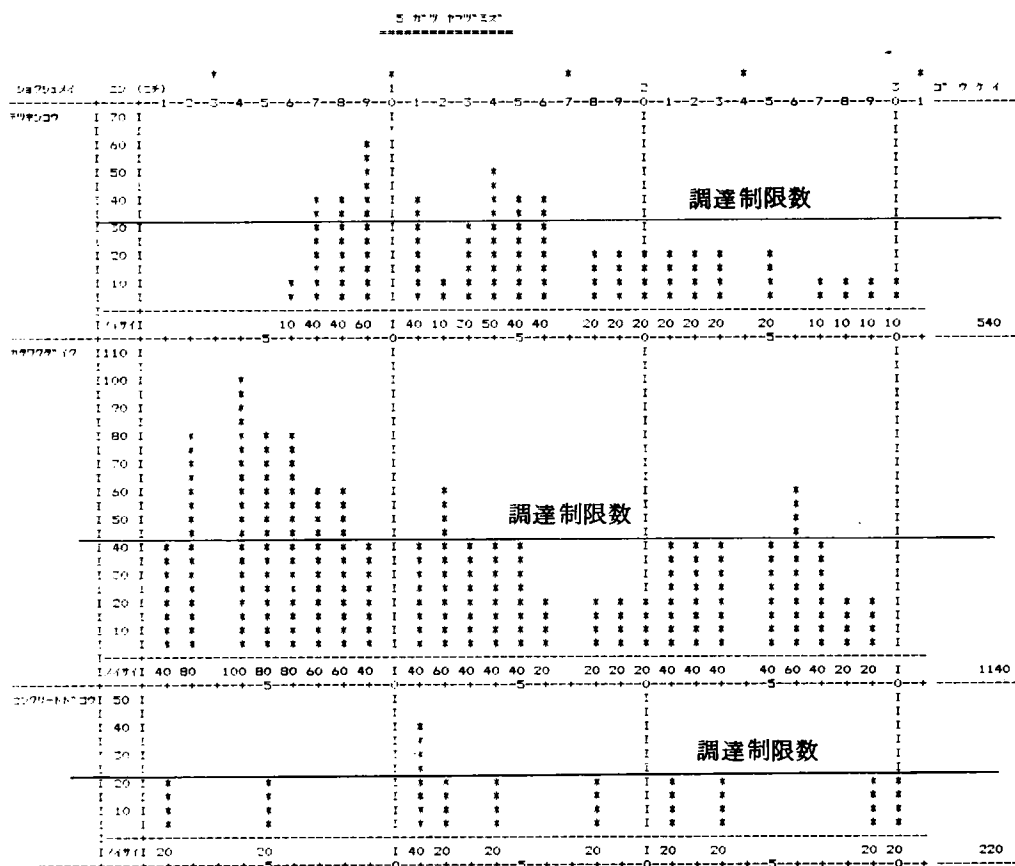


図-6.23 前づめ法による5月計画工程表の山積み図

用計画をも考慮して定めた全体工程計画のスケジュールに従わせるので、全体的にゆとりのある工程となる。そのために、資源の使用状況に関しても調達数の制限を超過する程度が小さくて、スライド法のような簡便な方法による部分的な処理で十分な場合が多いといえる。

5月計画工程表は、以上のような考察のもとに、中づめ法を適用して得られたスケジュールに対して鉄筋工とコンクリート土工の平滑化にスライド法を用いて作成した。そして、5月末日時点において作成した実績工程表と対比することにより、工事の進捗状況を評価することとした。その結果、予定より進行の早いブロックは5, 6, 7, 8, 12の各施工ブロックであり、予定どおりの進行であったブロックは9, 10, 13の各施工ブロックであった。また、予定より遅れたのは1, 2, 3, 4, 11の各施工ブロックであるが、いずれも墨出し作業や養生のような補助的な作業が残されているだけであった。デッドラインの後の所要残日数のもっとも大きい工程経路上の施工ブロックは5ブロックであったので、全体的には予定どおりかむしろ予定以上の進行であるといえよう。

## 5. 昭和56年6月における月間工程計画のフォローアップ

これまでの考察から、計画工程表の更新処理方法としては中づめ法の適用が有効であることが判明したので、6月計画工程表の更新処理は中づめ法によることにした。6月計画工程表のフォローアップデータとしては5月末日時点における工程実績データにもとづいて表－6.9を与えた。6月計画工程表に対して中づ

め法を適用して更

新処理を行ったの

ち、更新された6

月分の計画工程表、

資源山積み図およ

び計画工程表リス

トをプリントアウト

した。その結果、

全体的には各種資

源の調達数の制限

表－6.9 6月計画工程表のフォローアップデータ

ブロック	アイ	コウシュ	サキョウ	ノコリニヤス
2	チュウショウ カハ`スラフ`	コンクリート ヨウシ`ョウ	* クフ`ン-1	5
2	チュウショウ カハ`スラフ`	コンクリート ヨウシ`ョウ	* クフ`ン-3	2
3	チュウショウ カハ`スラフ`	カタワクシホコウ ハ`ラシ	カタツ`ケ	0
3	3 タ`ンハ`リ	テッキン`コウ	カタツ`ケ	0
4	シ`ョウショウ カハ`スラフ`	テッキン`クミ	カタツ`ケ	0
5	シ`ョウショウ カハ`スラフ`	カタワクシホコウ ハ`ラシ	* クフ`ン-1	0
5	シ`ョウショウ カハ`スラフ`	ホ`ウスイ	ホ`ウスイ	0
6	シ`ョウショウ カハ`スラフ`	カタワク`クミ	* クフ`ン-2	0
7	チュウショウ カハ`スラフ`	カタワクシホコウ ハ`ラシ	カタツ`ケ	0
7	3 タ`ンハ`リ	テッキン`コウ	カタツ`ケ	0
8	チュウショウ カハ`スラフ`	テッキン`クミ		2
9	チュウショウ ハシラ`ナカカハ`	テッキン`クミ		0
10	チュウショウ ハシラ`ナカカハ`	テッキン`クミ	スミタ`シ	0
11	チュウショウ カハ`スラフ`	カタワクシホコウ ハ`ラシ	カタツ`ケ	0
11	3 タ`ンハ`リ	テッキン`コウ	カタツ`ケ	0
12	シ`ョウショウ カハ`スラフ`	カタワク`クミ	* クフ`ン-2	2
13	シ`ョウショウ カハ`スラフ`	カタワク`ハ`ラシ	* クフ`ン-1	0
13	シ`ョウショウ カハ`スラフ`	カタワク`ハ`ラシ	* クフ`ン-2	0
13	シ`ョウショウ カハ`スラフ`	カタワク`ハ`ラシ	* クフ`ン-3	0

をほぼ満足するものであることがわかったが、鉄筋工と型枠大工の一部に調達数の制限を超過するところがあった。それで、6月計画工程に対して以下のような平滑化処理を行うこととした。

まず、図－6.24に示すように、更新処理した6月分の計画工程の資源山積み図と計画工程表を突き合わせて、調達数の制限を超過させる原因となっている作業を抽出することとした。そして、さらに、表－6.10に示している計画工程表リストを用いて、それぞれの作業の開始日、終了日、作業投入人数を調べた。

その結果、鉄筋工については、

- 3ブロック上床柱中壁部の鉄筋組み作業（8日×10人／日）、
  - 8ブロック中床壁スラブ部の鉄筋組み作業（2日×19人／日）、
- の2つの作業が競合していることがわかった。

また、型枠大工については、

- 1ブロック中床壁スラブ部型枠支保工組立て作業（4日×20人／日）、
  - 3ブロック上床壁スラブ部型枠支保工組立て作業（4日×20人／日）、
  - 12ブロック上床壁スラブ部型枠組立て作業（2日×19人／日）、
- の3つの作業の競合していることがわかった。

それぞれの作業について作業着手日のスライドによる各工程経路の所要残日数の増加への影響を調べることによって、つぎのように操作すればよいことがわかった。すなわち、

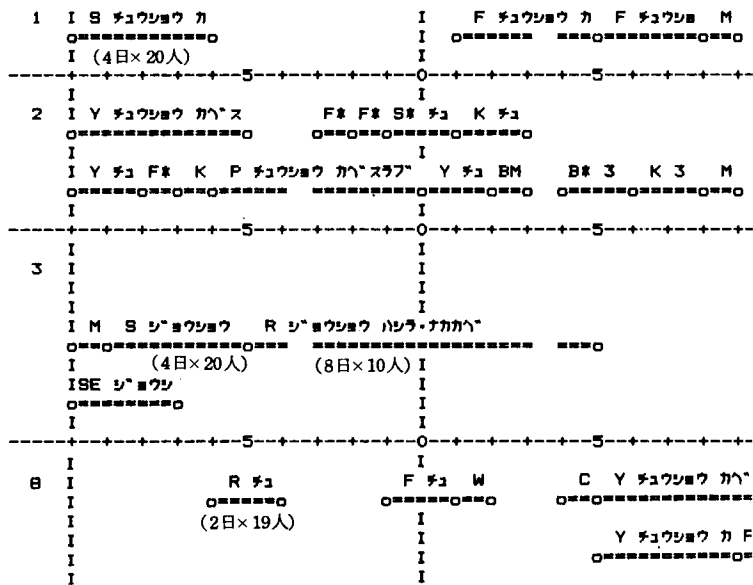
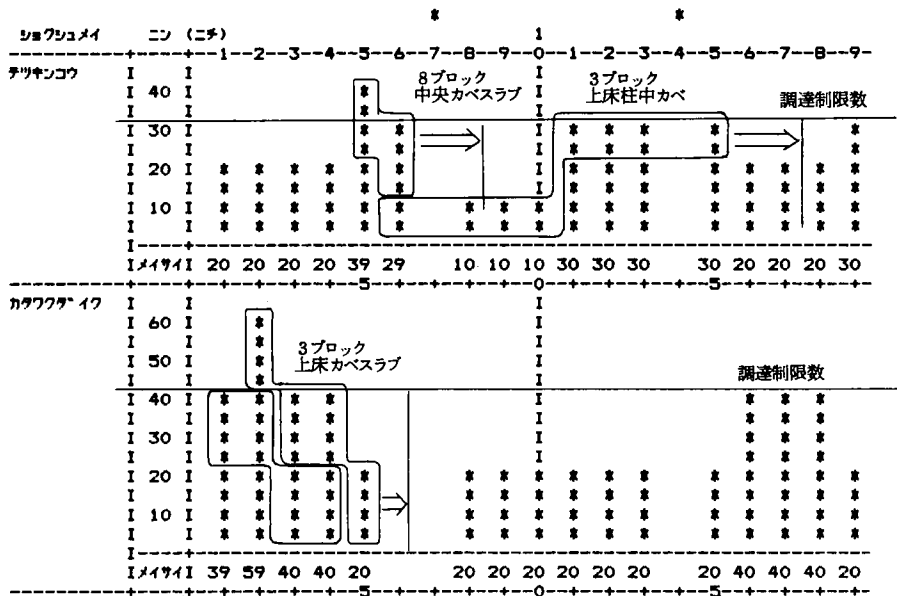


図-6.24 資源山積み図と計画工程表の対比による平滑化対象作業の抽出

表-6.10 計画工程表リストによる各作業特性値の調査

[illegible]

- i) 鉄筋工については、8ブロックの鉄筋組み作業の着手日を2日遅らせて調達数の制限を満足させるとともに、3ブロックの鉄筋組み作業の着手日も2日遅らせることによって鉄筋工の使用状況の凹凸を小さくする。
- ii) 型枠大工については、3ブロックの型枠支保工組立て作業の着手日を1日遅らせて調達数の制限を満足させる。

これらの工程データの変更処理は次のようにして行われる。すなわち、図-6.1.1の工事日報データの  
 入力処理に用いたメニューシートをデジタイザー上にセットして変更する作業の施工ブロック番号、  
 構造物部位名称、工種名称、作業名称の該当部分を順次スタイラスペンで押していく。すると、図-  
 6.2.5のように、

ディスプレイ上に当該作業の工程データが映し出されるので、変更する項目の訂正サインを確認して訂正デー

```

サキョウメイ : 3                ショウショウ ハシラ・ナカハ・テッキン クミ
=====
テイセイ                      テイセイ チ ラ
サイン                      ( テイセイ シナイ トキ ハ RETURN ラ )
    ショウウニッスウ : 8
1   カイシ ヒン : 606 ----> ? 609
    シュウリョウ ヒン : 615
    スカライン : 2
    ショフシュメイ : テツキンコウ
        ニンズウ : 10 (ニン / ニチ)
    シガイメイ : テツキン
        リョウ : 46
=====

```

図-6.25 デジタイザーメニューとディスプレイメニューを組合せた  
工程データの変更処理事例

タをキーボードから入力するのである。こうした処理をくり返すことによって、必要な工程データの変更を行うことができる。

こうした処理は、日常業務として行われる工事日報データ処理システムのコンピュータ機器をそのまま利用するのでそれほどの違和感もなく操作することができる。また、マン・ツー・マシンのいわゆる対話型処理であるので、従来のように技術スタッフと大型コンピュータに依存するのではなく、現場技術者自らが小型コンピュータを操作して工事施工の実態を反映した工事管理が可能になるといふ意義は大きいといえよう。

当工事の6月末日時点における工事の進捗状況を上述の方法で修正した計画工程表に書き込むと、図-6.2.6に示す状況であった。これをみると、1, 3, 7, 11の各施工ブロックは予定以上の進行を示し、12ブロックが予定どおり、2, 4, 5, 6, 8, 13の各施工ブロックは予定より遅れている。最長工程経路を含む6ブロックが2日遅れてはいるが、全体としてみれば予定どおりの進行といえよう。当工事は、7月に入って工事も終盤に入り工事の進捗もほぼ予定どおりであることから、以後は全体工程計画のフォローアップを行うこともなく無事に工期内に竣工することとなった。

全体工程計画のフォローアップは工事を工期内に完成させることを第一の目的として行うために必要な資源の投入によって負担費用の増大を招く場合が出てくる。一方、小型コンピュータによる月々の工程管理は月間工程表にもとづく工事の実施と翌月工程表の調整が主たる目的であり、全体工程計画レベルでのフォローアップの必要性の有無を判断する資料の作成を行うものである。今回の適用においては、全体工程計画のフォローアップを必要としないという結論が得られ、コスト面での負担もなく工事を進めることができたのである。

こうした小型コンピュータによる月々の工程管理と大型コンピュータを用いての工事全体の工程管理を有機的に結びつけることにより、トータルな工事管理を合理的に行うことが可能になったわけで、本研究で提案したシステム的な方法の有効性が実証的に明らかにされたといえるであろう。



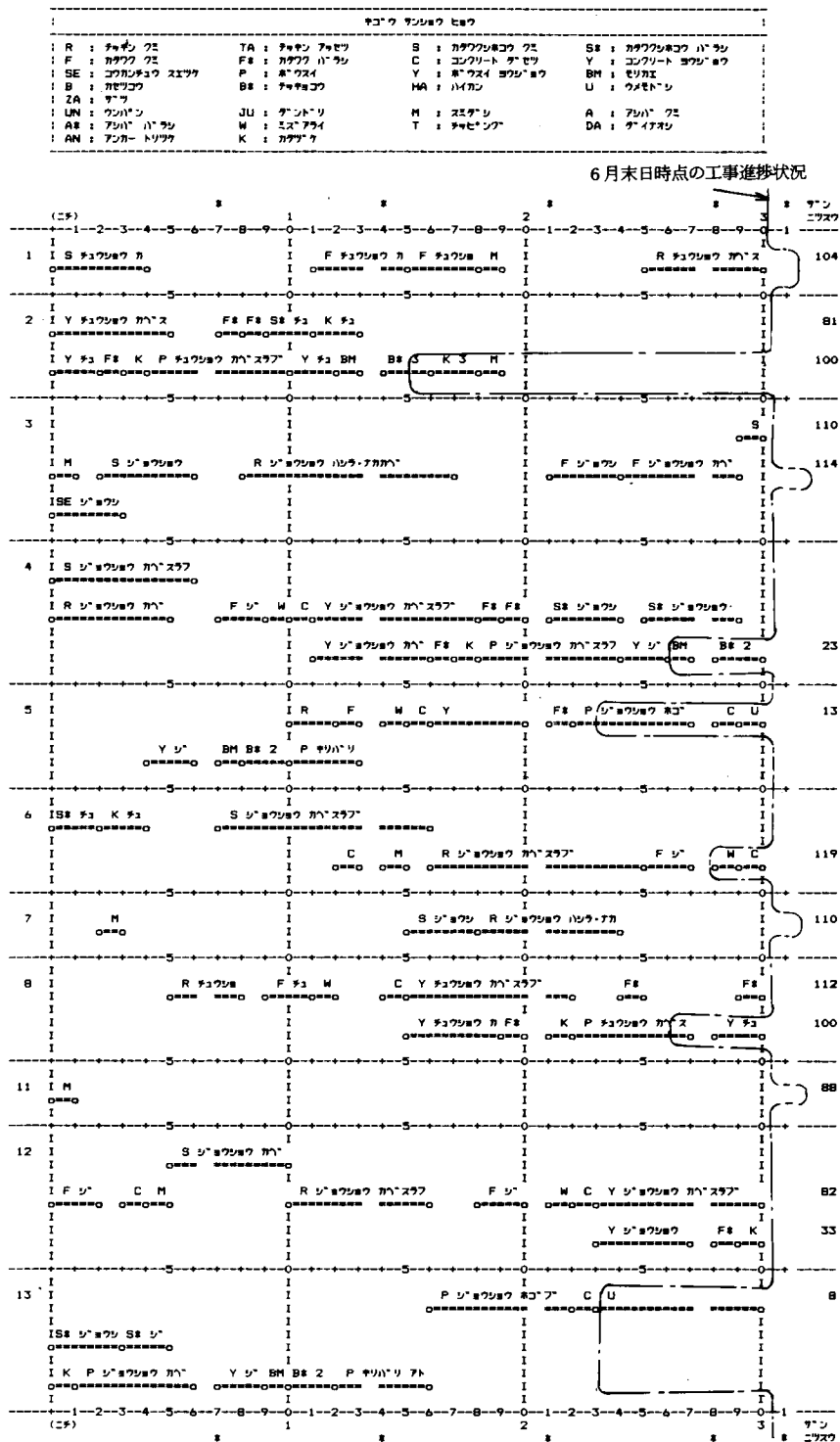


図-6.26 6月末日時点における工事進捗状況の評価

## 第6節 結 言

土木工事施工においては、工事の施工内容を確立し施工管理目標を設定する役割と機能を有する工事計画の重要性はいうまでもない。しかしながら、土木工事施工の特殊性として、工事着工当初に確立された工事計画のとおりにより工事が進められることはまずないといってよいのもまた事実である。こうしたことから、工事の実施段階においては、工事の進行状況を施工工程と対比させて捉え、施工条件の変化や設計変更等による工事計画の変更が工程計画の実行可能性を保証するものであるか否かを評価する必要が生じてくる。工程管理を中心とする工事管理が重要となる所以である。本研究は、こうした観点に立って、工程管理を中心とする工事管理システムの開発に関する研究を行ったものである。

まず、第2節においては、上述のような工事管理実務の中で有効に機能する工事管理システムはその処理内容の複雑さと処理対象データの膨大さなどからコンピュータを利用した情報処理システムが必要とされることについて述べた。そして、工事現場で行われる工事管理に直接的な効果をもたらすには現場に設置した小型コンピュータを大型コンピュータとの機能分担の考え方のもとに利用することが必要であり、そのためには、コンピュータの利用目的の明確化、その適用分野の選定、導入条件の分析をそれぞれの組織の実態に照して行っておくべきことを明らかにした。そうした考察のもとに現場設置の小型コンピュータの具備すべき機能とその構成要件について述べたが、なかでも、データ入力装置の合理的な設計が重要であることを指摘した。

第3節においては、現場設置の小型コンピュータを利用した工程管理システムの設計について事例を示しての考察を行った。工程管理システムは第2章から第4章までの工程計画の方法に関する諸研究の成果および第5章における工程管理の方法に関する研究成果を背景とするものであり、その全体的な構成を明らかにした。そして、データ通信による工程データの伝送方式の検討、小型コンピュータによるデータラインカットオフ法を援用した月間工程計画の作成方法、月間工程計画の更新処理のための中づめ法と前づめ法の2つの方法の考案、さらには資源山積み図の平滑化のためのスライド法と山崩し法の2つの方法の考案、およびそれらの各種方法の適用に伴う工程データの入力処理方法について実地的な考察を行った。

第4節においては、工程管理に欠かすことのできない施工実績データの作成に工事日報データを利用しようとする施工実績情報処理システムの設計について考察した。

工事日報は日々の施工活動の記録としてすべての工事現場で作成されている。本研究では、工事日報に記入されている作業内容を施工ブロック、構造物部位、工種、作業という工程ネットワークデータの分類と全く同じ分類基準にしたがってデータ化することにより、工事日報データを工程管理のための施工実績データとして利用できることを明らかにした。そして、記述データの多い工事日報データの確実でしかも容易な入力方法としてデジタイザーメニュー方式を考案し、その設計を行った。実

際の工事日報データを用いての入力処理の方法や集計処理の方法について考察し、工程管理のための実績工程表の作成方法を明らかにした。こうして集計された工事日報データは同時に他の管理目的にも利用できることを示した。

第5節においては、工程管理を組みこんだ工事管理システムの開発に関する本研究の諸成果の有効性を地下鉄工事管理への適用を通して検証することとした。工事計画の作成事例に関してはすでに第2章から第4章において詳細に考察しているので、ここでは、とくに、現場設置の小型コンピュータを利用した工事管理の方法について考察した。そして、本研究の方法によれば、大型コンピュータによる全体工程計画の確立という全体的な方針のもとで、各月における工程計画の作成、工事日報データにもとづいて作成される実績工程表と計画工程表の対比による工事進捗状況の評価、および翌月工程計画のフォローアップという一連の工事管理が体系的に行われることを実証的に明らかにした。

## 参 考 文 献

- 1) 掛井 連：現場管理と運営の仕方について，チェックポイントにもとづく土木施工管理の実務 22，P 6，山海堂，1981.
- 2) 田坂隆一郎：昭和57年度講習会テキスト 土木技術者のためのデータ処理と確率統計マニュアル計画編，PP. 126～143，土木学会関西支部，1982.
- 3) 田坂隆一郎：コンピュータによる現場管理システム(2)，積算資料，№643，前文 PP. 8～9，経済調査会出版部，1982.
- 4) 田坂隆一郎，折田利昭，安井英二，佐幸田泰明，米田宗司，西野久二郎：マイコンを利用した現場管理システムー地下鉄工事における工程管理事例ー，昭和57年度技術研究発表会論文集，PP. 129～163，鴻池組，1982.
- 5) 日本電子計算機：JECC コンピューター・ノート 1982年版，PP. 11～29，日本電子計算機，1982.
- 6) 前出 4).
- 7) 川崎健次，田坂隆一郎，西野久二郎，折田利昭，安井英二：現場における工程計画・管理システムーオンライン化へのアプローチー，第4回土木計画学研究発表会講演集，PP. 554～564，土木学会，1982.
- 8) 前出 4).
- 9) 前出 4).
- 10) 田坂隆一郎，折田利昭：現場の工程計画・管理におけるマイコン利用に関する一考察，第37回年次学術講演会講演集第Ⅳ部，PP. 99～100，土木学会，1982.
- 11) 前出 4).
- 12) 前出 10).
- 13) 前出 4).
- 14) 施工情報システム分科会：土木施工と情報 施工情報システム分科会活動報告 ワークショップによる発表討論会報告，PP. 91～162，土木学会土木計画学研究委員会施工情報システム分科会，1982.
- 15) 前出 4).
- 16) 田坂隆一郎，折田利昭，安井英二：工程管理のための工事日報処理システムについて，昭和57年度関西支部年次学術講演会講演概要集 Ⅳ－14，土木学会，1982.
- 17) 前出 4).
- 18) 春名攻，田坂隆一郎：土木施工における工程計画・管理のシステム化に関する実証的研究，第5回土木計画学研究発表会講演集，PP. 638～647，土木学会，1983.

## 第7章 結 論

近年の土木工事施工は、工事内容の大型化・高度化や工期短縮化の傾向と相まって、技能労働者の慢性的な不足や資機材価格の高騰、さらには現場周辺地域の環境保全の要請など、施工技術的側面における問題だけでなく、むしろ工事施工の管理的側面において考慮すべき制約や解決すべき課題が顕著になってきた。このために、従来にも増して土木工事施工の合理化が重要となってきたが、合理化すべき対象やそれに対する合理化の方法は従来と様相を異にしていると思われる。すなわち、施工技術の開発や改良に努力することもさることながら、それらの施工技術や工事用諸資源の効果的な運用によって総合的に工事施工目標を達成しようとする工事計画・管理の合理化が主要な課題となってきたのである。しかし、工事施工において考慮すべき要因や要素は多様で複雑な関わり方をしているために、それらの要素や要因の工事計画・管理に対する影響や関わり方を分析的に捉え、それらを工事施工の過程を通して総合的に解決を図っていくという工事計画・管理の体系化、システム化が、工事計画・管理の合理化にとって重要でかつ緊急を要するものとなってきたのである。

本研究は、基本的にこのような立場と観点に立って工事計画・管理のシステム化に関する研究を進め、その有効性を工事現場への適用を通して実証してきたものである。ここで、これまでに考察してきた各章の研究成果をとりまとめて示すことにより、本研究の結論とする。

まず、第1章の序論においては、上述のような立場と考えのもとに、工事計画・管理の合理化とそのためのシステム化の必要性、方針について論じた。そして、工事計画・管理のシステム化にあたっては、工事施工や現場管理業務に認められる多階層な特性に注目することによって工事計画・管理問題を階層的に捉え、それらの対象や範囲を明確にすることが重要であると考え、その方法を明らかにした。また、工事施工の主要な評価要素である安全性、品質、迅速性、経済性の工事計画・管理上の特性について工事レベル、工程レベル、作業レベルという3つのマネジメントレベルとの関係において分析し、これらを合理的に評価するうえで施工工程が重要な役割を果たしていることを明らかにした。これらの考察の結果から、工事計画・管理のシステム化は工程計画・管理システムの構築を中心として行うことが肝要であり、また、効果的であるとして、システム化の方針を明らかにした。さらに、工事計画・管理システムの運用に際しては膨大な工事情報の高度な処理を必要とすることから、工事現場に設置する小型コンピュータと本社・支店に設置されている大型コンピュータを有機的に組合せた情報処理システムの利用を前提としたシステム構築を図るべきであることを述べた。これらの考察をとおして工事計画・管理のシステム化の構想を明らかにした。

第2章においては、工事計画・管理システムの中心的な機能を有する工程計画・管理のトータルシステム化の方法について論じ、適用事例を通して実証的な考察を行った。そこでは、まず、工程計画・

管理システムを工事計画・管理の中に合理的に位置づけるために、第1章で明らかにした工事計画・管理の各プロセスと概略対応する総括工程、詳細工程、月（週）間工程という3種類の工程レベルを提案し、それらの計画・管理を通してシステムのトータル化が図られることを明らかにした。また、工程計画・管理に用いられる手法の具備すべき要件の考察から、トータルシステム化のためにはネットワーク手法を中心とし、座標式工程表や工程管理曲線やシミュレーション手法などはこれに対して補完的に適用されるべきことを述べた。上記の3種類の工程レベルは工事の施工単位との対応関係を定義することによって工事施工特性を反映させることとしたが、さらに、単位作業を構成する4つの主要な作業特性値の間に認められる関数関係の定性的特性について考察して、工事施工要素と工程計画の構成要素との関係を明らかにした。これは、工程計画・管理のシステム化にとって計画作成段階におけるシステム化の方法の確立を図ることが先決であるとの考えに立つためである。また、工事施工における施工パターンに注目することによってネットワークモデルによる工程計画作成の簡便化の方法を提案した。これらの方法の提案にあたっては、工事現場における利用のし易さを考慮してプレシデンス型ネットワークによることとした。そして、これらの成果の地下鉄工事における工程計画・管理業務への適用を通して、プレシデンス型ネットワークによる工程計画・管理システムはシステムの運用と機能拡張に関して従来のアロー型にはない有効な特性のあることが明らかとなった。

第3章および第4章は全体工程計画のシステム化に関する各論的研究であり、総括工程計画と詳細工程計画のスケジューリングの方法について実証的な考察を行ったものである。

すなわち、第3章においては、工事施工の構想化段階に位置づけされる総括工程計画のスケジューリングの方法に関する研究を行った。総括工程計画は、基本的には、主要な工事用資源の運用計画を作成することであると規定したが、ネットワークモデルによるスケジューリングでは施工ブロックと構造物部位によって区分される施工ユニットを単位工程とする管理的な順序関係を求める問題に帰着することを明らかにした。そして、地下鉄工事を事例として取上げ、その主要工種である掘削工事と構築工事の総括工程計画問題を取扱った。掘削工事における施工ユニットの設定基準として明確なものはないが、構築工事の施工ユニットと対応する掘削地盤を施工ユニットとして設定することは両工事のスケジュールの相互関係を明らかにするうえで有効であることがわかった。掘削工事の総括工程計画作成は掘削機械系の選定問題と実際上の施工条件の制約を考慮してのスケジューリングの問題であり、その解法としては離散型汎用シミュレーション言語GPSSによるモデル化が有効であることを明らかにした。また、構築工事の総括工程計画作成は仮設資材の転用問題が主要なものであり、ネットワークモデルの適用のもとでの仮設資材の転用経路を考慮する方法や鉄筋工、型枠大工の調達に対する制約が厳しい場合のスケジューリングの方法の提案を行った。これらを地下鉄工事へ適用してその有効性を実証することができた。

総括工程計画と詳細工程計画を対比して考えると、土木工事の工程計画問題としては総括工程計画

の方が工事施工の基本的な方針に関わる問題を取扱っており、詳細工程計画の作成は総括工程計画の枠組みの中で行われるものでなければならない。

第4章では、そのような位置づけの中で、まず、詳細工程計画の課題について作業日程計画と資源使用計画を中心として考察を行った。詳細工程計画レベルの工程計画問題に対してはネットワークモデルがもっともよく適合するが、実際の工事への適用性については検討すべき点が多く存在する。工程計画・管理手法としての取扱いやすさに関しては、プレシーデンス型ネットワークの利用と構造物、工種、作業の3種類の施工単位と対応する工程データを作成することによって、相当程度に対処できることを明らかにした。別の問題点としては、ネットワークモデルを用いてのスケジュール計算に山崩し計算法を適用する場合に作業着手の優先順位の設定基準の選択に関する問題がある。これについては、山崩し計算法で一般に用いられている各種指標の適合性について実施例を通して比較検討した。その結果、各時刻ごとにPERT計算を行いそれから求められるトータルフロートを作業着手の優先順位を定める第1基準として山崩し計算を行うことが望ましいスケジュールを与える場合の多いことがわかった。また、ネットワーク手法の適用にあたっては、上述のようなスケジューリングの方法に関する課題のはかに、工程データの入力方法と工程表の図化方法の合理的な設計も重要である。工程データの入力に関しては、工程データの整理表の作成・作業データの入力処理、順序関係データの入力処理、工程表および資源山積み図の図化データの入力処理についてそれぞれのプログラム開発に関する考え方を述べて入力データの合理的な作成方法を明らかにした。そして、そのプログラムを用いて地下鉄工事の詳細工程計画の作成を行い、その有効性を実証した。

工事の実施段階における作業レベルの計画問題として、大規模ケーソン工事のコンクリート打設作業の解析事例を取り上げた。そして、シミュレーションモデルを用いての作業解析の方法は、打設コンクリートの時間特性、コンクリートポンプやアジテーターカーの稼働特性、作業時間と機械損料とのトレードオフの関係など種々の作業特性の定量的な把握に有効であることを明らかにした。

以上は工程計画の作成を中心とする研究であるが、第5章および第6章は工程管理のトータルシステム化の方法と工程管理を中心とする工事管理システムの開発に関する考察を行ったものである。

すなわち、第5章においては、まず、工事管理のプロセスにおいても階層性の認識が重要であり、その中心となる工程管理のシステム化の課題が全体工程計画と整合する短期（部分）工程計画の作成、施工実績情報の収集処理方法の確立、全体工程計画のフォローアップ、およびマクロな進捗管理指標の設定と深く関わっていることを述べた。ネットワークモデルを用いて全体工程計画から月間工程計画を作成する方法としてデットラインカットオフ法を援用する方法を明らかにした。また、全体工程計画のフォローアップのための工程データの処理方法についても実際の考察を行った。これによって、プレシーデンス型ネットワークを用いての工程計画の作成、実施工程表の作成、フォローアップによる工程管理を一貫した方針のもので行うことが可能となった。管理段階における重要な問題とし

て工事施工の実績情報の収集蓄積がある。本研究では、すべての工事現場において作成されている工事日報の内容をコンピュータ処理することにより、工事管理や工程管理に有効な各種の施工実績データが得られることを、事例を通して明らかにした。ネットワークモデルを用いての工程管理や工事日報を利用しての施工実績データの作成は作業レベルにおける、いわばミクロな管理である。これに対して、統計的な分析によって工期や利益率などの工事管理指標との関連性が認められる出来高曲線について、各月の施工速度を計測して3次曲線を精度よく当てはめようとする方法はマクロな進捗管理への糸口を示すものといえる。

第6章は工事現場で運用される工事管理システムの開発に関する研究である。ここでは、まず、現場に設置した小型コンピュータを利用する工事管理システムの概念構想を明らかにしたが、これを効果的に実現していくためには組織全体におけるコンピュータ利用の実態と今後の方向を明確にすべきであることを指摘した。工事管理システム構築の中核となるべき工程管理システムは工事現場で適用されてこそ意味のあるものとなる。本章においては、大型コンピュータから必要な期間の工程計画データを受信することにより、現場設置の小型コンピュータを用いて行う工事管理システムの設計について考察した。大型コンピュータから伝送されてくる工程計画データはデータラインカットオフ法を援用して得られたものである。また、月々の工程データの更新処理にあたっては、現場設置の小型コンピュータに毎日入力される工事日報データの活用、中づめ法と呼ばれる全体工程計画との整合を考慮したスケジューリングの方法、スライド法と呼ばれる簡便な資源平滑化の方法など、工事現場における工事管理の実態を考慮したいくつかの方法を考案した。また、工事日報データの作成にあたっては、工程計画データとの対応を重視して工事施工の内容を施工ブロック、構造物部位、工種、作業および種別に分類してデータ化することとした。そして、工事日報データや工程管理データの入力処理にあたっては、デジタイザメニュー方式やディスプレイメニュー方式を採用して、現場技術者が容易にかつ正確に処理できる工事管理システムの設計を行った。これらのシステムは第3章、第4章および第5章の適用事例として取り上げた地下鉄工事にモデル的に適用してその実効性を明らかにした。

以上が本論文の成果である。研究の実施にあたっては代表的な市街地工事である地下鉄工事を選定し、工程計画・管理を中心とする工事計画・管理システムの実効性を検討して、土木工事施工の実務における適用性を高めることに努めた。しかしながら、土木工事の対象とするプロジェクトは広範多岐にわたり、土木工事施工の直面する課題や工事計画・管理問題は多様で、また、非常に複雑である。そうした課題に対しては、本論文におけるようにシステムズアプローチの方法を適用しつつ、さらに、施工の安全性や構造物の品質の確保という設計・施工技術的側面と資源の運用効率や施工の迅速性、経済性という工事管理・運営技術的側面の融合を図り、総合的な建設技術を確立することが重要である。今後においても、そのような技術研究の発展に対して些かでも貢献したいと考える。